

# UN UNIVERS MULTI-AGENTS POUR LA MODELISATION DU SYSTEME DE LA PECHE DU DELTA CENTRAL DU NIGER

**Christophe CAMBIER**

Laforia Université Paris VI 4 place jussieu 75252 Paris cedex 05  
Orstom 70 route d'aulnay 93143 Bondy cedex

**François BOUSQUET**

Orstom 70 route d'aulnay 93143 Bondy cedex

**Daniel DANSOKO**

Laboratoire d'hydro-biologie Mopti MALI

e-mail: cambier@orstom.orstom.fr, bousquet@orstom.orstom.fr

## MOTS CLES

Objet, Acteur, Agent, Blackboard, Intelligence Artificielle Distribuée, Simulation

## RESUME

L'équipe de recherche pluri-disciplinaire ORSTOM-IER (Mali) étudie le système de la pêche du Delta Central du Niger au Mali. Différents niveaux de complexité sont définis, tant pour la représentation de la dynamique des populations de poissons que pour celle du comportement des pêcheurs. Des simulations ont été élaborées pour étudier le passage entre ces niveaux, en particulier l'émergence de comportements de groupe, à partir des réactions des individus face à la variabilité de leur environnement. Ces simulations utilisent les formalismes de représentation de la connaissance et de communication proposés en Intelligence Artificielle Distribuée (IAD). L'IAD considère que la résolution d'un problème doit être le fruit de la coopération "intelligente" entre modules autonomes (ou agents). Nous présenterons les systèmes multi-agents que nous avons développés dans cet esprit pour qu'ils répondent aux objectifs qui étaient fixés : à savoir l'étude de l'articulation des connaissances, la prise en compte de l'émergence de comportements et de la variabilité du système.

## I. INTRODUCTION

---

En 1986 débute un programme de recherches conjointes entre l'Institut d'Economie Rurale (Mali) et l'ORSTOM. Il concerne l'étude de la pêche dans le Delta Central du Niger (DCN) en tant que système et adopte pour cela une démarche multi-disciplinaire. Dans l'équipe prennent place des anthropologues, des économistes (micro et macro), des démographes, des biologistes, des écologistes, des biométriciens, des halieutes<sup>1</sup>, etc... Après un travail statistique qui a duré deux ans, basé sur des enquêtes pluri-disciplinaires (près de 2000 ménages enquêtés, soit environ 9% de la population des pêcheurs), les différents chercheurs ont approfondi des problématiques propres à leur discipline. Cette équipe a identifié la nécessité de travaux de simulation pour l'analyse de système dans le sens où elle permet d'explorer, sur un terrain artificiel, les propriétés d'un modèle, d'une construction produite par les chercheurs. Cet outil s'avère particulièrement intéressant dans le cadre d'une équipe qui produit donc autant de modèles, de points de vue qu'il y a de chercheurs, et qui cherche à trouver une synthèse entre ces points de vue. Enfin, depuis avril 1991, cet outil de simulation est opérationnel à Bamako, confronté aux exigences des chercheurs et aux réalités du terrain. Ce papier comprend trois

---

<sup>1</sup> Qui étudient la pêche

1 - MARS 1995

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

N° 41083

Cpte B Ex 1

grandes parties, dans la première, nous présenterons le contexte de l'IAD par rapport aux objectifs de la simulation, dans la deuxième nous détaillerons des points intéressants de l'implémentation qui font l'originalité de ce système multi-agents, enfin en dernière partie, nous présenterons l'application DCN sur cet univers multi-agents.

## Objectifs de la simulation

Quelques points fondamentaux se dégagent de l'étude DCN qui constituent pour les simulations autant de sujets de réflexions sur la représentation des connaissances, sur l'étude informatique de la dynamique d'un système. Nous les abordons succinctement.

- **La pluri-disciplinarité.** Il existe sur la dynamique du système autant de points de vue que de chercheurs impliqués. La synthèse de ces connaissances est nécessaire pour fournir un modèle pertinent du fonctionnement du système. La simulation doit donc se pencher sur des problèmes de communication, de liens entre des connaissances basées sur des concepts différents, entre des modèles, des points de vue sur la réalité.
- Le DCN est un système très hétérogène et les phénomènes observés, en écologie comme en sciences humaines, présentent une grande **variabilité**. Les connaissances acquises par chacun des chercheurs sur des facteurs responsables de la dynamique du système sont elles aussi empreintes d'une variabilité, même si celle-ci n'est pas toujours quantifiée. Un des enjeux d'un travail de simulations est de faire le lien entre ces variabilités pour mettre en avant les facteurs déterminants pour comprendre la diversité du système.
- Différents **niveaux de complexité** sont définis. Les **transferts d'échelles** que chacune des disciplines rencontre, implicitement ou explicitement, doivent être décrits dans le sens de la propagation de contraintes d'un niveau supérieur vers un niveau inférieur et dans celui de l'**émergence** d'un processus au niveau supérieur à partir de comportements au niveau inférieur.

## Simulations en Approche Distribuée

Le générateur de simulations a été élaboré à partir des principes de l'IAD. *"Tandis qu'un système d'IA classique représente un être humain dans l'accomplissement d'une tâche qui requiert à la fois des connaissances, de l'expérience et une certaine dose de raisonnement, un système d'IAD est conçu comme une société (un univers) d'agents autonomes qui travaillent en commun. Chaque agent est amené à coopérer et à collaborer avec les autres agents du système, d'une part, afin d'améliorer sa propre participation à la résolution du problème global et de compléter les informations dont pourraient avoir besoin les agents, d'autre part, afin de n'agir qu'au moment opportun"* (J. Ferber). [Ferber. 89]

Si les premières réflexions dans cette discipline remontent aux années 76 [Lenat. 75], [Hewit. 76], ce n'est que depuis 86, 87 que l'IAD [Bond&Gasser. 88], [DAI. 87] a pris son véritable essor.

## Un peu de vocabulaire

Différents mots sont employés dans ce contexte simulation et Intelligence Artificielle Distribuée. Voici comment nous les percevons et le sens qui leur est donné par la suite :

**objet** : Le mot objet recouvre trois aspects distincts (structurel, conceptuel et actanciel).

Cependant, un public non averti perçoit mal l'aspect actanciel, c'est à dire les possibilités d'interagir, de communiquer avec d'autres objets. Ici le mot objet sera employé pour définir un support de représentation de la connaissance, d'une structure, d'un concept.

**acteur** : En informatique le mot acteur diffère de l'objet par sa forme de traitement des messages. Ici, le mot acteur sera employé lorsque l'objet se met à communiquer, à interagir avec les autres objets, lorsqu'il devient une entité autonome, libre d'évoluer dans le monde artificiel qui l'entoure (l'aspect actanciel).

**agent** : *"On appelle agent une entité réelle ou abstraite qui est capable d'agir sur elle même et son environnement, qui dispose d'une représentation partielle de cet environnement, qui, dans un univers multi-agents, peut communiquer avec d'autres agents et dont le comportement est la conséquence de ses observations, de sa connaissance et des interactions avec les autres agents"*. (J. Ferber). Ainsi un agent recouvre la notion

d'acteur, d'objet, mais va aussi plus loin : un agent peut être un lot de règles ou une procédure de calcul, l'expertise d'un domaine, voir l'expert lui même. . . .

## Des prérogatives

Il s'agit de simuler des phénomènes aussi différents que des processus sociaux ou écologiques, de contrôler l'articulation des multiples connaissances, d'intégrer à divers degrés l'interaction entre de nombreux composants. Or, il ne se trouvait aucune catégorie d'agent assez recouvrante pour pouvoir répondre à ces différents objectifs. Il apparût alors essentiel de disposer de classes d'agents à granularités variables ; notre simulateur devint alors une population d'agent en interaction (interaction variable et ce, dans différentes couches). De plus, afin que les simulations soient significatives, le système doit pouvoir intégrer un nombre très important de composants (quelques milliers), les agents pourront être distribués sur plusieurs machines en réseau (cf Communication entre agents).

## Quel Multi-Agent ?

L'aspect communication est prépondérant dans le choix des différentes implémentations et prédispose les activités possibles de l'agent. A différents degrés, on retrouvera les différents modèles énumérés ci-dessous :

- communication explicite par envois de messages  
(les langages acteurs en sont une réalisation [Hewit . 73])
- communication implicite par partage de l'information  
(les blackboards par exemple [Erman, Hayes-Roth. 80])
- communication par interaction sur un certain espace de perception local  
(l'éco-résolution [Ferber. 90])

## Structuration de la connaissance

En premier lieu, la représentation "tout objet" a été choisie comme étant l'élément de base de toute construction. Dans notre simulation, les composants étudiés auront évidemment une certaine réalité informatique, ainsi notre univers d'objets représentera t-il toujours l'état du système à un instant donné. Suivant le type de simulation et le type de phénomène auxquels on s'intéresse, deux cas doivent être envisagés : soit l'objet dispose de son propre système de contrôle et devient alors un petit agent autonome (c'est l'aspect acteur de l'objet ou agent réactif et le qualificatif "petit agent" sous entend ici que le comportement de cette entité est réduit à quelques actions simples, qu'il n'interagit que dans son environnement local [Minsky. 89]) ; soit l'objet reste "passif" (une partie de son contrôle lui échappe et son état résulte de l'activation d'un agent plus "évolué", ici un agent de type blackboard). Ainsi deux classes d'agents cohabitent: les agents Blackboard et les agents réactifs (perception -action). Notre travail est donc aussi l'histoire de cette cohabitation.

## L'Agent Réactif

Un système multi-Agents réactif inspiré des principes de l'éco-résolution [Ferber & Jacopin. 89] est construit en deux couches ; la première constitue le noyau (indépendant du domaine) qui détermine le protocole nécessaire pour amener chaque agent dans un état de satisfaction. La deuxième couche dépend du domaine et détermine les comportements spécifiques (par exemple: la satisfaction d'un poisson serait peut-être de se reproduire ou de manger un autre poisson). L'implémentation à proprement parler de ce type de multi-agent présente peu de difficultés, les problèmes surviennent davantage avec la gestion du parallélisme, la répartition optimum entre temps d'exécution des différents types d'agents (comment le temps est-il vécu par chaque agent, comment est-il simulé. . .). A ce jour, ce type d'agent est principalement utilisé pour étudier la dynamique des poissons; par la suite, il est prévu d'utiliser cette approche pour simuler certains processus de délibération entre pêcheurs.

## II. ARCHITECTURE BLACKBOARD

---

Dans son principe le fonctionnement du modèle blackboard est simple; on différencie les éléments qui représentent l'état du problème à un instant donné d'une part, de la connaissance sur ces dits éléments d'autre part. Ainsi la connaissance est distribuée entre un certain nombre agents ou spécialistes qui pourront agir sur les informations stockées dans une base partagée, le blackboard à proprement parler. "Agir, oui !" mais c'est précisément l'art et la manière de cette intervention qui différencient les différents modèles de blackboard et plus précisément leur mécanisme de contrôle.

Nous avons donc construit un modèle inspiré du système Atome [Haton. 88] qui présente un bon compromis entre efficacité, souplesse dans la représentation des connaissances et adaptabilité du mode de contrôle dans chacune des phases de résolution.

Comme dans la plupart des modèles de blackboard, on discernera les trois composants fondamentaux:

- les sources de connaissances (Ks)
- le blackboard
- le mécanisme de contrôle

On distingue trois types de sources de connaissances

- Les **spécialistes** qui regrouperont les connaissances liées au sujet traité.
- Les **tâches** qui effectuent un contrôle local en gérant les spécialistes.
- La **stratégie** qui effectue un contrôle global du système en gérant les tâches.

On notera que seules les spécialistes accèdent directement au blackboard.

Une spécialiste<sup>1</sup> contribue à la résolution du problème à partir des informations disponibles dans le blackboard et des connaissances qu'elle possède. Elle est caractérisée par sa base de règles et le mode de fonctionnement du moteur d'inférence: simple, multiple, cyclique, . . . . (ce fonctionnement détermine ainsi le choix et le nombre de règles à déclencher). Les spécialistes seront placés sous la responsabilité d'une même tâche pour résoudre certains problèmes de conflit et assurer leur coopération. Une Tâche est caractérisée par les mêmes propriétés qu'une spécialiste, mais diffère par son mode de raisonnement qui détermine l'ordonnancement d'activation des spécialistes. La boucle à chaque cycle d'exécution est simple : la stratégie sélectionne les Tâches, lesquelles activeront les spécialistes, lesquelles enfin accèdent aux objets du blackboard. Dans notre application, le blackboard est subdivisé en niveaux, définissant autant de zones de pêche qu'il y en a aux alentours du village et peut être considéré de ce fait, comme un écosystème local. On remarquera le rôle original joué par chaque niveau du blackboard qui représente un espace particulier de pêche contenant les objets réels (poissons, pêcheurs, etc. .) directement exploitables par les spécialistes.

## III. ARCHITECTURE DES AGENTS BLACKBOARD

---

Dans cette simulation, chaque agent blackboard devra intégrer les trois fonctionnalités suivantes :

- simuler toute la dynamique d'un territoire de pêche
- prendre en compte les migrations de pêcheurs ou poissons issues d'autres territoires
- répondre aux questions, aux demandes d'informations qui émaneraient de pêcheurs d'autres territoires.

Ce sont ces deux derniers points qui ont nécessité l'adjonction d'un deuxième blackboard, dit de communication ainsi qu'un système de traitement des buts.

Les communications inter-agents Blackboard se feront par l'envoi de messages dans le blackboard correspondant de l'agent récepteur, et seront gérées par des spécialistes en émission et en réception (cf "La communication entre agents").

---

<sup>1</sup> Le féminin est toujours un label de qualité

## IV. COMMUNICATION ENTRE AGENTS BLACKBOARD

La spécification d'un mécanisme de communication doit permettre aux différents agents de coopérer et d'échanger toutes les informations utiles pour la réalisation d'une tâche commune. Son intégration au sein d'un agent doit répondre aux critères de *simplicité* (Les structures de communication sont simples et s'insèrent facilement dans l'architecture existante) et d'*adaptabilité* (Le comportement d'un agent face à ses communications et le traitement des messages peuvent être rapidement modifiés et améliorés). C'est pour ces raisons que l'architecture de blackboard a été utilisée. Lorsque un agent est créé, un blackboard de communication et deux spécialistes dans le traitement des messages lui sont automatiquement intégrés.

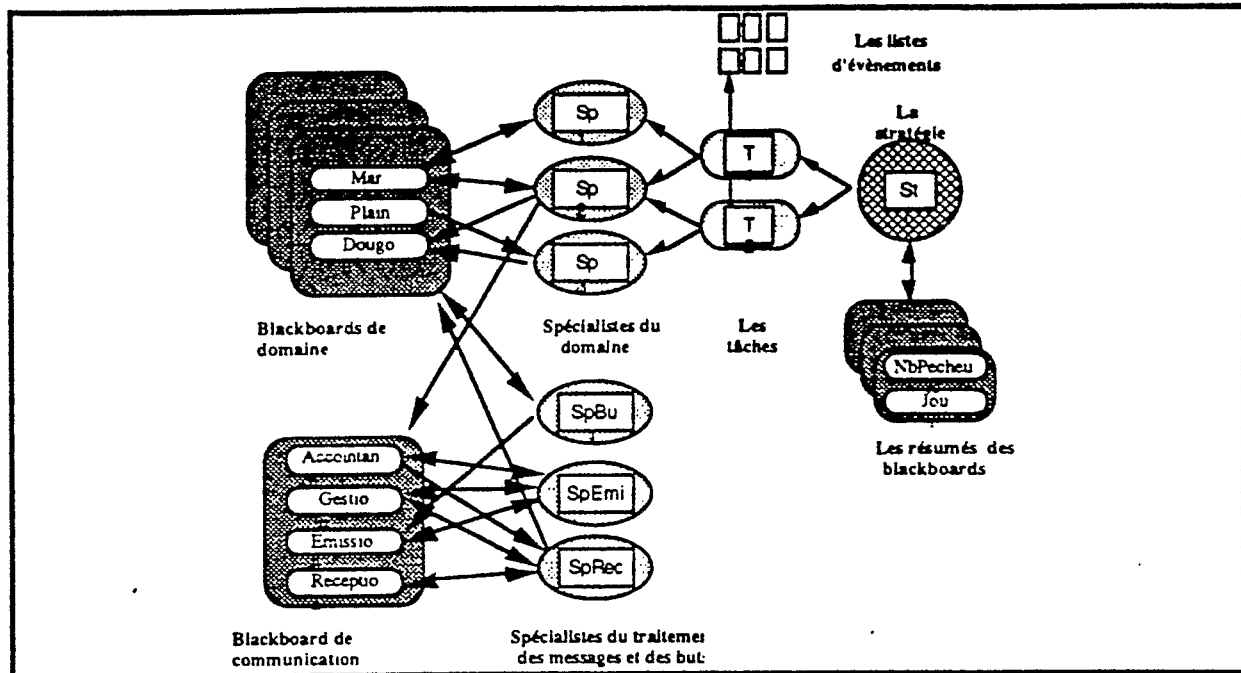


Figure 1 : Architecture d'un agent Blackboard

### IV. 1 Le Blackboard de communication :

Il est composé des quatre niveaux suivants :

**Accountance** : contient la liste des accountances de l'agent, c'est à dire l'ensemble des agents connus de celui-ci.

**Emission** : contient la liste des messages en émission, c'est à dire l'ensemble des messages que l'agent s'apprête à envoyer. Les messages sont des objets (instances de *Communication*) définis par les champs suivants:

**Réception** : contient la liste des messages (instances de *Communication*) reçus par l'agent ceux-ci n'ayant pas encore été traités. Ce niveau est, en fait, la boîte aux lettres de l'agent et son adresse est connue de tous les agents qui communiquent avec lui.

**Gestion** : contient les communications en cours de traitement. Il s'agit, plus précisément, de la liste des requêtes émises ou reçues par l'agent et qui attendent une réponse.

## IV. 2 Les Spécialistes de communication :

### "Agent"@Emission:

Cette spécialiste est déclenchée lorsqu'au moins un message doit être envoyé par l'agent. Son rôle est de mettre à jour et de transmettre correctement les communications créées par les autres sources de connaissances. Elle est également chargée de gérer les messages en attente d'une réponse.

Quand un agent veut envoyer un message par l'intermédiaire de l'une de ses sources de connaissances (spécialiste, tâche ou stratégie), une instance de *Communication* est créée et placée dans le niveau *Emission*. La source de connaissances ayant "émis" ce message précise le *type*, le *récepteur* (le nom d'un agent présent dans les accointances), l'*objet* de la communication (le contenu du message) et l'*adresseRetour* (le niveau d'un blackboard) où sera placée la réponse s'il s'agit d'une requête ou d'un ordre.

Elle peut également préciser, si la communication est bloquante, c'est à dire si l'agent doit stopper son activité jusqu'à l'arrivée de la réponse.

### "Agent"@Réception:

La réception d'un message est une opération très simple, une fois définie l'étape précédente. Lorsqu'un agent reçoit un message (i.e insertion d'une communication dans son niveau *Réception*), la spécialiste concernée est activée. On supposera que le message reçu est toujours valide, c'est-à-dire que les champs utilisés ont été correctement positionnés. Cette spécialiste est déclenchée lorsque un ou plusieurs messages ont été reçus par l'agent. Son rôle consiste à propager les réponses dans les niveaux du blackboard du domaine après réception d'une réponse et à mettre à jour les buts de l'agent après réception d'une requête ou d'un ordre.

### Le traitement des buts:

La résolution des buts est assurée par une spécialiste unique, appelée *"Agent"@TraitementDesButs*, qui est intégrée à l'agent dès sa création. Elle travaille sur tous les niveaux des blackboards de l'agent et se charge, à chaque cycle d'activation de celui-ci, de retrouver les objets demandés (vérifiant la requête correspondante) et de créer, en conséquence, les messages de sortie dans le niveau *Emission* du blackboard de communication. Elle fonctionne de manière cyclique, afin de résoudre simultanément le plus grand nombre de buts. Son originalité réside dans le fait que le nombre de ses règles (donc ses compétences) varie en fonction du nombre de buts à résoudre. En effet, dès que l'agent reçoit une requête, le but correspondant à l'objet de la communication est transformé en une règle qui sera insérée dans la spécialiste. Les prémisses de la règle donnent les conditions que doit vérifier une hypothèse<sup>1</sup> d'un niveau pour satisfaire le but (elles sont générées à partir de l'objet de la communication), et les conclusions correspondent aux actions à faire après la résolution. Celles-ci se traduiront, d'une part, par la création d'une réponse (dont l'objet sera l'hypothèse ayant permis le déclenchement de la règle et le receveur l'agent ayant posé la requête), et d'autre part, par la suppression (l'auto-destruction) de la règle de la spécialiste (elle n'est donc déclenchée qu'une seule fois)<sup>2</sup>. Le schéma ci-dessous donne un exemple de règle générée à partir d'une communication.

---

<sup>1</sup> Les requêtes ne peuvent porter pour l'instant que sur un seul objet. Plus tard, il devra être possible de retourner tous les objets qui satisferont le but, ou encore de résoudre des buts faisant intervenir un ensemble d'hypothèses de différentes classes.

<sup>2</sup> Cette petite astuce permet une gestion simple des buts et résout convenablement le problème du temps d'exécution de la spécialiste. Celle-ci travaille en effet sur un nombre important de niveaux et met donc un certain temps pour mettre à jour les jeux d'instanciation de ses règles lorsqu'elle est activée.

Voici à titre d'exemple comment s'implémenterait une question pratique: "Quelle quantité de poissons un pêcheurs Bozo a-t-il pêchée près du Dougou (le village) et avec quels engins ?"

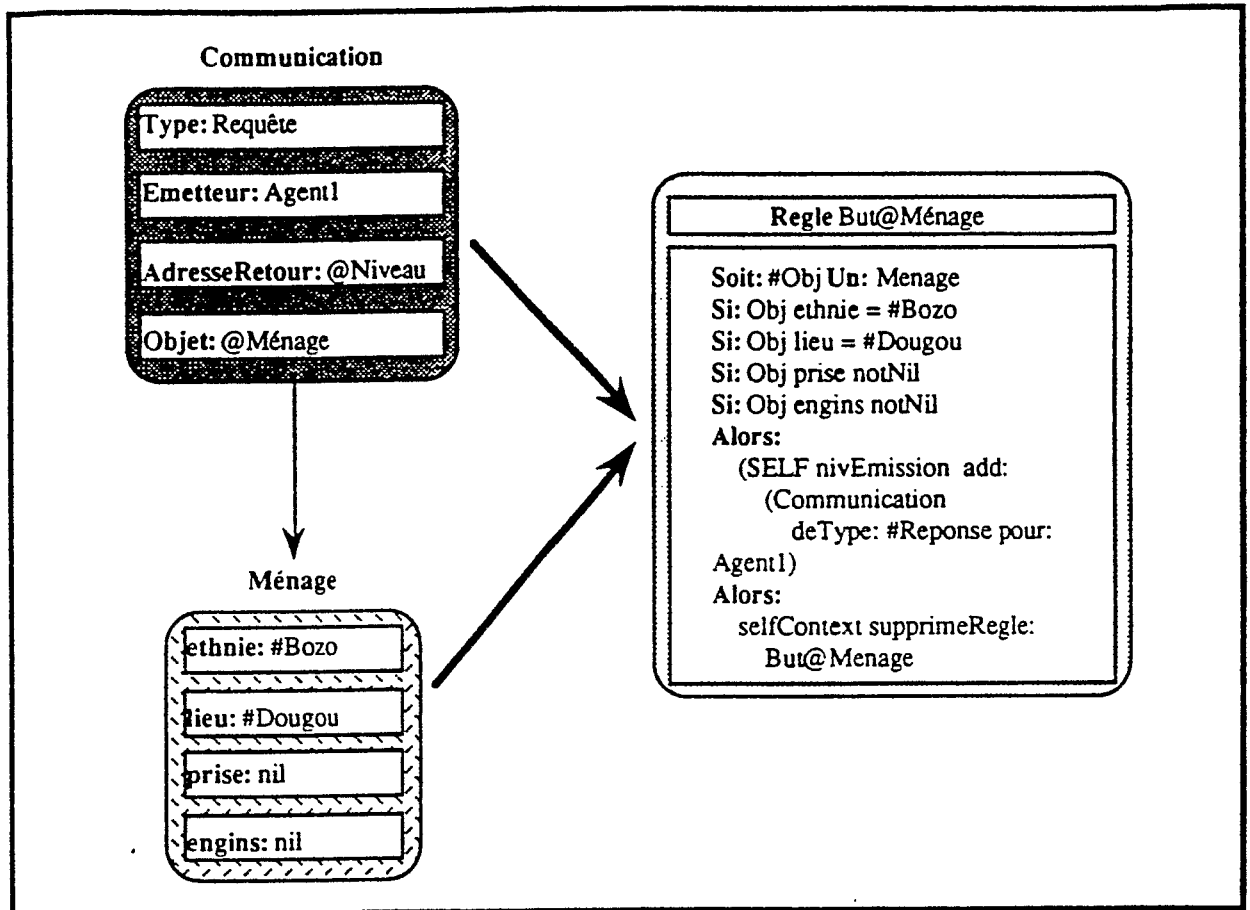


Figure 2 : Génération d'une règle de résolution de but

Ceci nous amène à penser, que l'adjonction d'un agent de reconnaissance de langage naturel ne pourrait que combler le système. Dans ces perspectives, il paraît vraisemblable d'entrevoir de réelles possibilités afin que le système soit amené à une forme d'auto-conversation de plus en plus élaborée...

## V. SIMULATION

### Introduction

L'analyse du système DCN passe par l'étude de deux sous-systèmes, le système de la ressource et le système des sociétés qui l'utilisent. Le premier problème consiste à étudier la dynamique de la ressource et l'influence de la pêche sur celle-ci. Le deuxième problème consiste à étudier l'organisation socio-économique des populations vivant sur le delta et les relations entre cette organisation et l'environnement écologique.

### Simulation de la dynamique de la ressource et de la pêche.

Le DCN correspond à un système particulier, qui associe des milieux permanents (fleuve, lacs, mares permanentes) à des milieux temporaires (bras de fleuve, marigots, plaines inondables). La dynamique de la ressource est en relation avec ces caractéristiques hydrologiques (migrations des poissons, reproduction à des moments précis du cycle hydrologique, concentration à d'autres périodes). Les écologistes de l'équipe ont acquis de nombreuses connaissances, au cours du programme ou de leurs études précédentes en milieu sahélien, sur les poissons (mortalité, croissance, reproduction, migrations, inter-relations. . .).

Le cadre de simulation intègre :

- les différents milieux du Delta: fleuve, bras asséchables, mares, plaines inondables, marigots, caractérisés par une capacité biotique<sup>1</sup>.
- la variabilité liée à l'hydrologie (importance et rythme des crues) et de la pluviométrie qui induit des variations de la capacité d'accueil d'un milieu.
- les poissons ; on définit quelques super-espèces, divisées en cohortes, qui diffèrent par leur mode d'alimentation (détritivores - planctonophages - prédateurs) et leurs courbes de croissance, de mortalité, les types de reproduction, les processus de migrations ainsi que la compétition et la prédation qui constituent les interactions entre les divers éléments.

On connaît ces caractéristiques par leurs formes (courbes, moyennes, variabilité . . .). Une partie du simulateur intègre ces différentes connaissances à l'échelle du poisson ou du groupe de poissons. On introduit des connaissances simples au niveau des agents (agents réactifs), ici les poissons et de leurs relations puis on observe l'émergence d'une dynamique globale.

La figure 6 montre l'évolution simulée de la biomasse totale de poissons sur 2 ans. On voit bien les poissons se reproduire, passer d'un biotope à l'autre, etc. . .

Il est possible de simuler l'effet des prélèvements sur la dynamique de cette ressource en retirant une quantité de poissons qui représente le prélèvement des pêcheurs. Cependant, dans le but d'étudier l'interaction entre les poissons et les pêcheurs, nous avons simulé la prise de décision des pêcheurs. La deuxième partie de notre étude consiste à modéliser et simuler l'action des pêcheurs sur cette ressource.

### Simulations du comportement des pêcheurs

La stratégie de production du ménage est un point clé pour aborder la dynamique du système car elle intègre des processus de perception, de décision, elle reflète la connaissance qu'ont les pêcheurs du système et définit l'intervention sur le sous-système ressource. C'est un problème complexe, abordé par les chercheurs suivant différents points de vue, diverses théories qui correspondent à des modèles de perception de l'environnement et de l'espace par les acteurs.

Pour illustrer les potentialités du simulateur nous avons retenu deux modèles de décision différents :

- le modèle économique : De façon simplifiée le schéma économique que nous avons retenu dans un premier temps est le suivant : au sein de son territoire le ménage reçoit toutes les informations hydrologiques et écologiques, qui lui fournissent une gamme de possibilités à partir desquelles il choisit une activité. Ses critères de choix entre différentes opportunités sont économiques (sauf en cas d'impossibilité ; exemple : on ne peut pêcher dans la mare si elle est à sec). Les ménages sont donc doués de capacités de calcul (coûts prévisionnels, recettes prévisionnelles) et de comparaison mais sont non interactifs entre

---

<sup>1</sup>quantité limite de nourriture dans un écosystème pour une espèce donnée



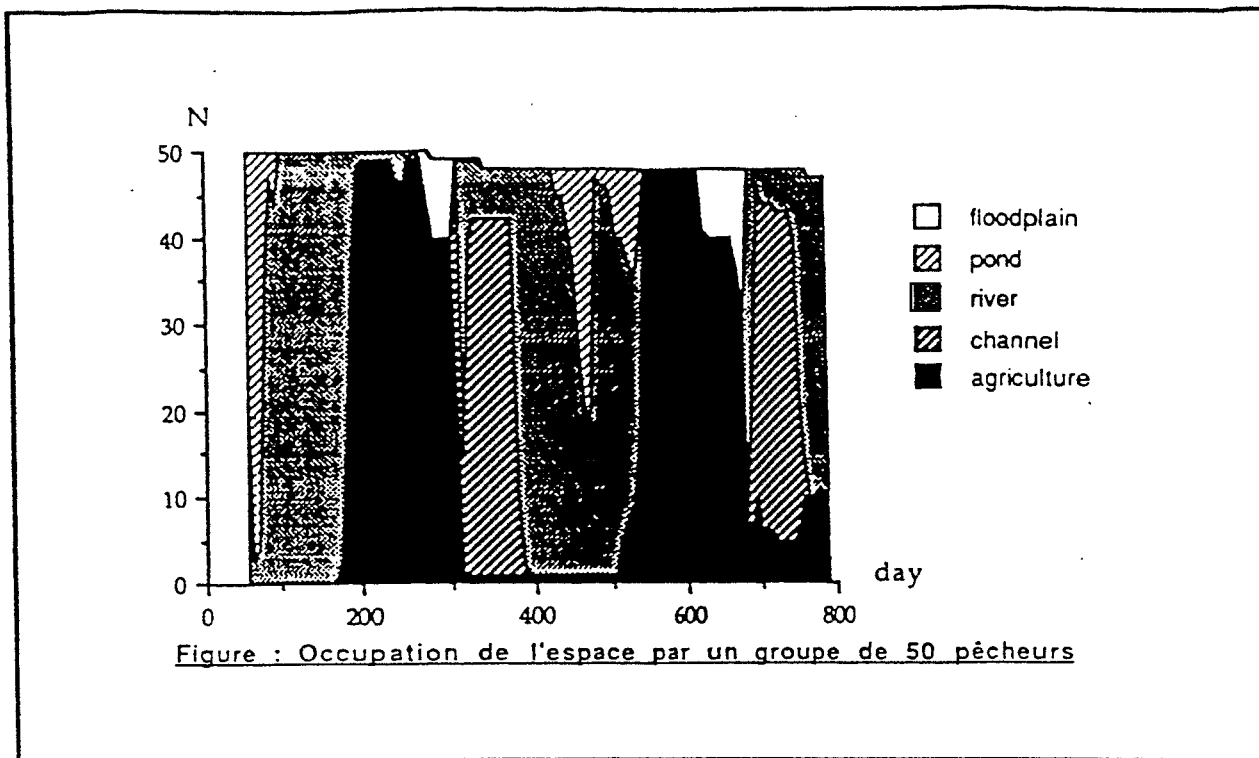


Figure 5 : Occupation de l'espace

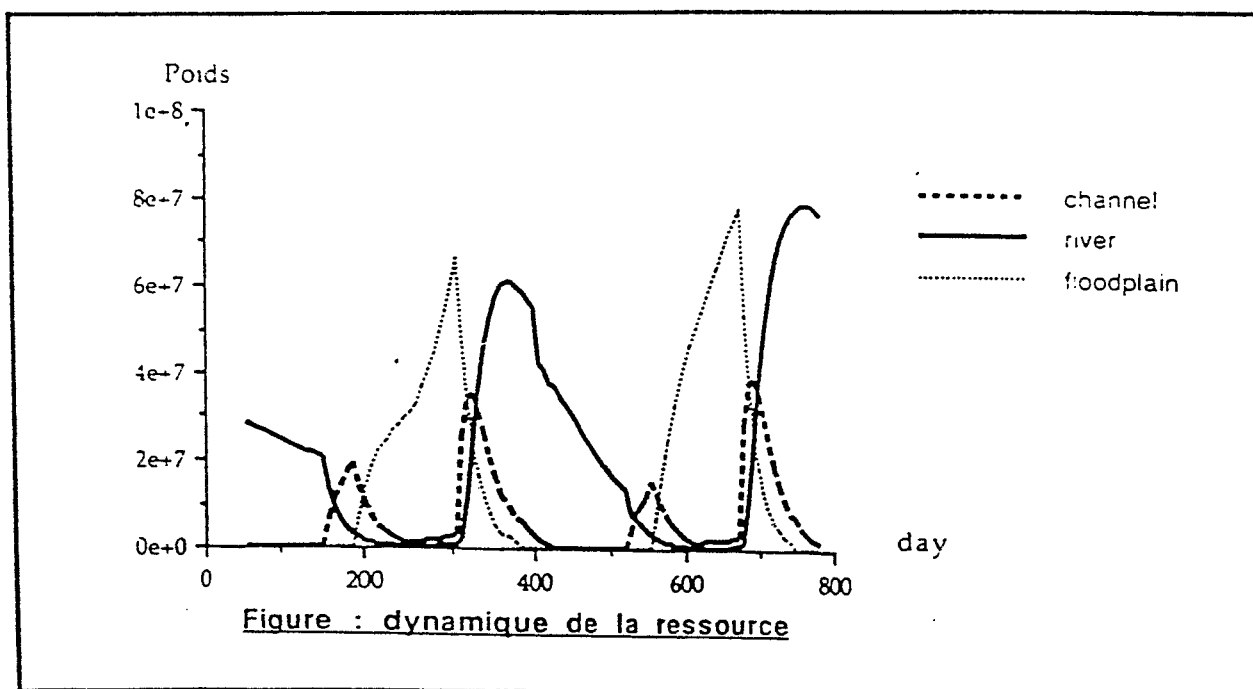


Figure 6 : Dynamique de la ressource

eux. Le choix dépend de la perception que le ménage a de son milieu, la complétude de son information, son attitude face au risque. En résultat, on observe des indices construits sur l'occupation globale de l'espace par l'ensemble des pêcheurs (voir figure 5), sur leurs séries d'activités, etc. . . On peut alors tester la sensibilité de ce modèle économique, et montrer que la prise en compte de la variabilité de l'environnement, de différentes attitudes envers le risque peuvent modifier l'intervention globale du groupe de pêcheurs sur la ressource [Bousquet & 1992]

- le modèle social : Ces simulations ne comportent pas d'interactions directes entre les ménages (agents blackboards) La rationalité économique que nous avons simulée, confrontée à une variabilité de l'environnement ou différentes attitudes face au risque est une décision individuelle. Le ménage est plongé dans un environnement qui est uniquement écologique. L'interaction avec les autres ménages est très indirecte: elle passe à travers la quantité de poissons présents dans le biotope qui dépend du degré d'exploitation de ce biotope.

Or, par ailleurs, tout le travail des micro-économistes et anthropologues montre, en étudiant l'histoire des peuplements et leurs relations à l'espace, que la perception et la décision ne sont pas seulement individuelles mais aussi collectives. C. Fay et B. Kassibo décrivent comment les différents groupes de pêcheurs se sont partagés l'accès à la ressource, comment la société s'est organisée pour s'adapter à son environnement et à sa variabilité.

Le simulateur que nous présentons permet de représenter différentes relations sociales soit en écrivant des règles simples du type:

Soit x Ménage

Si x ethnie = somono

Alors x pecheMare: veto

qui, dans une approche descendante, contraignent le pêcheur à suivre les activités imposées par le groupe auquel il appartient, soit en donnant au pêcheur des accointances, c'est à dire d'autres pêcheurs avec lesquels il peut communiquer pour décider de son activité. On s'aperçoit par exemple que la taille du réseau de communication entre les pêcheurs influence l'occupation de l'espace-ressource par le groupe de pêcheurs (Bousquet et al. , 1992).

Après avoir comparé les différents modèles entre eux, en observant les différences de comportements des groupes de pêcheurs, on peut aussi observer l'influence de ces différentes attitudes sur la dynamique des populations de poissons. Ainsi les figures 7, 8 montre que la réponse de la ressource aux deux modèles de décision des pêcheurs est différente.

Ce type de résultat de simulation, est rapporté aux différents chercheurs de l'équipe pour, conformément aux objectifs que nous nous étions fixés, leur poser des questions quant à la sensibilité de leurs modèles et pour provoquer des discussions sur l'articulation des différents modèles disciplinaires, en reliant des connaissances écologiques et socio-économiques ou en confrontant des modèles économiques et sociaux

## VI. CONCLUSION

---

Ce travail de simulation que nous avons présenté, s'intègre parfaitement au sein du travail de synthèse de cette équipe de recherche Franco-Malienne. Il existe plusieurs modèles pour expliquer les choix d'activité des pêcheurs et ce simulateur devient un outil appréciable pour observer l'influence de ces choix sur la dynamique de la ressource. et les comparer sur place (Bamako) aux données observées sur le terrain. C'est la variété (du réactif à l'agent cognitif) et l'adaptabilité des composants qui définissent cet univers multi-agents qui nous ont permis de créer cet univers artificiel.

Cette implémentation nous aura permis de faire cohabiter des processus écologiques avec des processus mentaux de décision, ce qui constitue une avancée vers la compréhension des interactions entre des sociétés et leur environnement naturel.

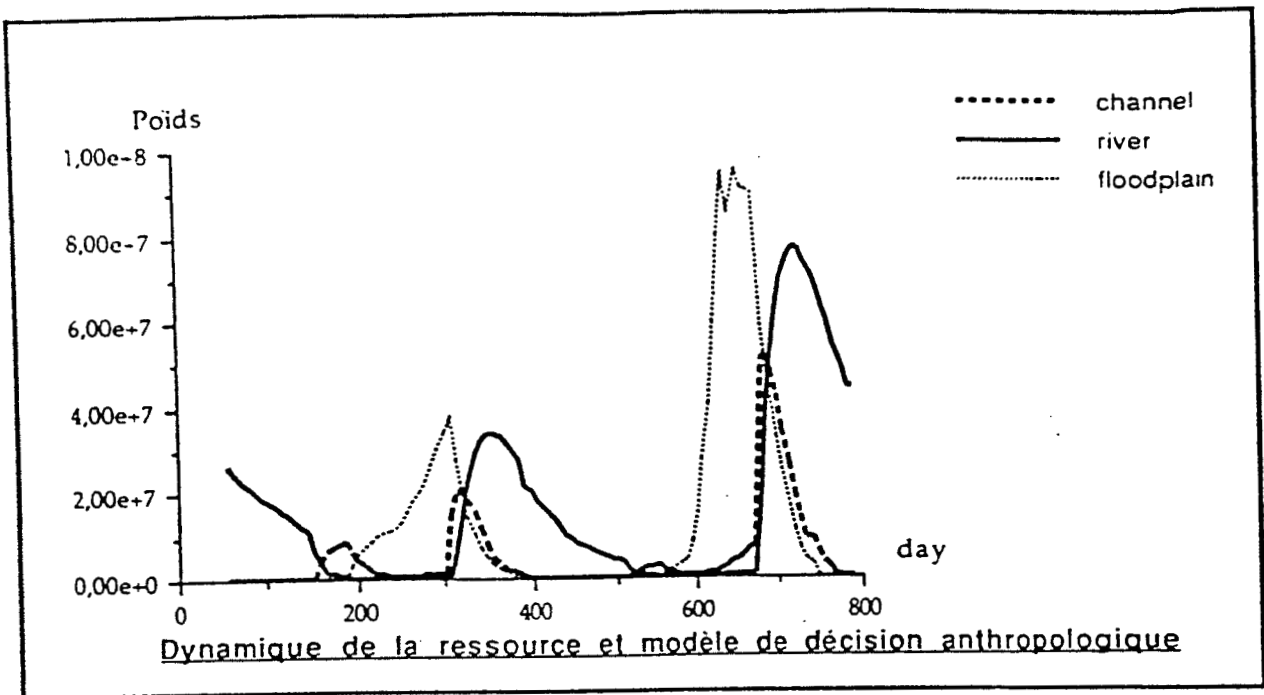


Figure 7 : Modèle de décision anthropologique; effet sur la dynamique de la ressource

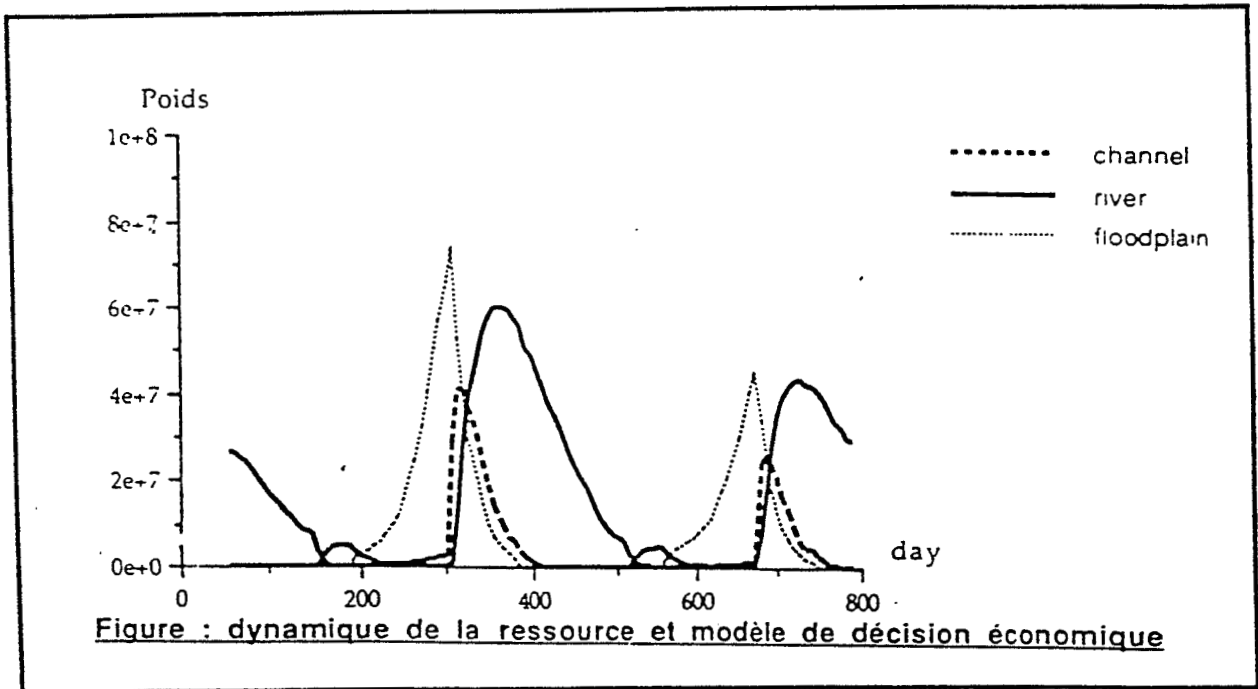


Figure 8 : Modèle de décision économique; effet sur la dynamique de la ressource

## VII. BIBLIOGRAPHIE

---

- [Bond & Gasser 1988] A. H. Bond, L. Gasser "Readings in Distributed Artificial Intelligence", Morgan Kaufman, 1988.
- [Bousquet & Cambier 1990] F. Bousquet et C. Cambier "Transfert d'échelle et univers multi-agents: le cas du système pêche du delta central du Niger, SEMINFOR4, ed. ORSTOM.
- [Bousquet & Cambier 1992] F. Bousquet et C. Cambier "Simulating fishermen Society", Symposium of Simulating Society, Université de Surray, Angleterre, avril 92
- [DAI 1987] "Distributed Artificial Intelligence", edited by M. N. Huhns, Pitman- Morgan Kaufman, 1987.
- [Fay 1990a] C. Fay "Systèmes halieutiques et espaces de pouvoirs: transformation des droits et des pratiques de pêche dans le Delta Central du Niger (Mali) 1920-1980", Cahier des Sciences humaines, ORSTOM, 1990.
- [Fay 1990b] C. Fay "Sacrifices, prix du sang, eaux du maître: fondation des territoires de pêche dans le Delta Central du Niger (Mali)" Cahier des Sciences humaines, ORSTOM, 1990.
- [Erman & Hayes-Roth 1980] L. D. Erman, F. Hayes-Roth, V. R. Lesser, R. D. Reddy "The HEARSAY-II Speech Understanding System: . . . "ACM Computing Surveys 1980.
- [Ferber, 1989] J. Ferber "Objets et agents: une étude des structures de représentation et de communication en intelligence artificielle", Thèse de doctorat d'état, Université Pierre et Marie Curie, 1989.
- [Ferber & Jacopin 1989] J. Ferber, E. Jacopin "The Framework of Eco Problem Solving", Proceedings of Maamaw'90, 1990.
- [Haton & . 1987] J. P. Haton, B. Maître, H. Lâasri, T. Mondot "Atome: Another Tool for developing Multi-Expert Systems", Proceeding AAI Workshop on Blackboard System, 1987
- [Haton 1988] J. P. Haton "Les systèmes Multi-Experts", Architecture Avancée pour l'intelligence Artificielle, Nancy, EC2, 1988.
- [Hautin & Vailly 1986] F. Hautin, A. Vailly "La coopération entre systèmes experts", 1<sup>o</sup> journées du PRC, Aix les bains, 1986.
- [Hayes-Roth 1985] B. Hayes-Roth, M. Vaughan Johnson, A. Garvey, M. Hewett "Building Systems in the BB Environment" in Englemore & Morgan.
- [Hewitt 1986] C. Hewitt, "Offices are Open systems", Transactions on OIS, Vol. 4 N°3, July 1986.
- [Kassibo 1988] B. Kassibo "La dynamique de la pêche dans le delta intérieur du fleuve Niger (Mali) de la période pré-coloniale à nos jours" in Boucle du Niger, approches multi-disciplinaires, Kawada ed. , 1990.
- [Lenat 1975] D. Lenat "BEINGS: knowledge as interacting expert" Proceeding of the 4th IJCAI conference, 1975
- [Minsky 1986] M. Minsky, "The Society of Mind", Basic Books. 1986.