

TRANSFERT D'ECHELLE ET UNIVERS MULTI-AGENTS: LE CAS DU SYSTEME DE LA PECHE DU DELTA CENTRAL DU NIGER

BOUSQUET F., CAMBIER CH.

RESUME

Le programme Delta Central Du Niger étudie la pêche artisanale en considérant ce phénomène dans sa complexité, en étudiant les interactions, l'organisation du système de la pêche. Au moment d'intégrer les diverses connaissances dans un cadre informatique de simulation, outil de travail pour cette étude systémique, se pose le problème de l'intégration de concepts disciplinaires dans un cadre pluri-disciplinaire. Les sciences cognitives proposent des techniques de représentation à partir de l'objet, de l'élément du système (poisson, pêcheur, chenal, engin...) et des structures de communications (les univers multi-agents) pour faire collaborer les connaissances des différents chercheurs. Les outils présentés sont adaptés pour permettre la propagation de contraintes de niveaux supérieurs vers les niveaux inférieurs ou, inversement, l'émergence de comportements de groupe à partir de comportements individuels.

1 LE PROGRAMME DELTA CENTRAL DU NIGER

Débuté en 1986, le programme d'études halieutiques du Delta Central du Niger (DCN) a été conçu par l'ORSTOM et l'INRZFH (Institut National de Recherche Zootechnique Forestière et Hydrobiologique) avec pour objectif de réunir le maximum d'informations scientifiques, d'aboutir à une meilleure compréhension de la pêche dans le delta central, et enfin de favoriser la mise en place d'une gestion adaptée et cohérente de ce secteur d'activité (Quensière, 1988).

Le secteur des pêches artisanales fait intervenir divers acteurs pêcheurs et poissons dans un environnement dont les composantes hydrologiques, écologiques, sociologiques, économiques sont responsables de l'évolution, de la dynamique.

L'objectif de cette étude sur la pêche artisanale est donc de décrire, d'analyser le comportement, l'organisation de ces acteurs dans leurs interactions avec leur environnement et de définir une dynamique

globale à partir des dynamiques individuelles. Ainsi, la pêche est abordée comme un système dont les différents composants (conditions d'accès à la ressource, de production, de commercialisation, technologies de captures, stocks disponibles, biologie de la ressource) interagissent étroitement; le principal objectif réside donc dans une étude fine de l'imbrication de ces composants (cf. Quensière).

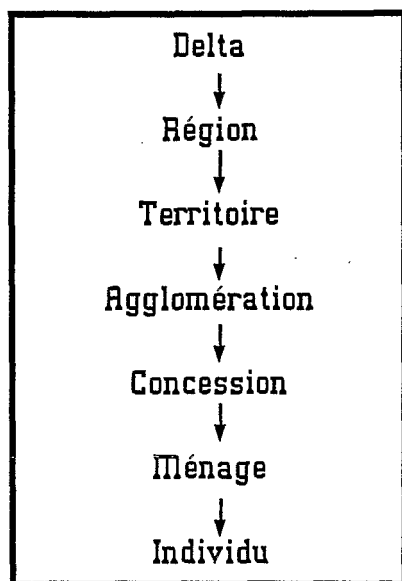
Ce programme est conduit au Mali par une équipe pluridisciplinaire (anthropologues, biologistes, halieutes, économistes, démographes, biométriciens); la phase d'acquisition des données et des connaissances a débuté en 1986 et se caractérise par sa diversité et sa richesse:

- enquêtes statistiques pluridisciplinaires stratifiées (près de 20000 personnes enquêtées) (cf contribution P. Morand)
- monographies sur les structures sociologiques et la dynamique spatio-temporelle du rapport homme-milieu,
- réseau d'acquisition de données de pêche et de commercialisation du poisson (27 villages en permanence) comprenant la saisie et le traitement des données en temps réel,
- enquêtes statistiques en démographie,
- marquage de poissons pour suivre les migrations,
- échosondages pour évaluer les ressources du fleuve,

2 LA DIVERSITE DES ECHELLES

Les connaissances acquises, qu'elles soient issues des enquêtes statistiques, des réseaux d'acquisition de données ou des analyses sociologiques ou biologiques portent sur différents niveaux, correspondant soit à des degrés d'organisation (individu-ménage-concession-agglomération, poisson-"groupes" de poissons) soit à des échelles géographiques (territoire-région-delta), où sont identifiées des caractéristiques, des règles, des lois qui régissent l'activité de la pêche.

Par exemple le schéma montre, pour le pêcheur, différentes échelles qui correspondent à des niveaux sur lesquels des connaissances ont été acquises: le sociologue pourra se pencher sur les structures des groupements de pêcheurs sur un territoire ou une région tandis que le biologiste des pêches s'intéressera à l'individu, acteur d'une pêche, ou que le microéconomiste décrira les évolutions budgétaires au sein des ménages ou encore que le macroéconomiste travaillera sur les flux intra ou extradeltaïque.



Ainsi une bonne intégration des connaissances sur chaque niveau et sur les interactions entre les niveaux, d'une part est nécessaire à la compréhension de la dynamique globale du système de la pêche dans une approche interdisciplinaire et d'autre part permet aux chercheurs de chaque discipline de disposer de connaissances d'autres disciplines qui pourront orienter leur recherche. Le biologiste des pêches pourra par exemple comprendre les efforts de pêche d'un individu en fonction de la position de son ménage dans l'agglomération, l'anthropologue pourra quantifier les résultats d'une stratégie adoptée par le ménage par le poids de poissons rapportés par un individu du ménage, l'économiste évaluer les résultats alimentaires d'un investissement technologique du ménage, etc...

C'est pour tenter d'intégrer les diverses connaissances dans un cadre commun qu'un projet de modélisation est en cours: il consiste à élaborer un logiciel de simulation permettant une représentation du fonctionnement du système ou de sous-systèmes et offrant au chercheur de chaque discipline un outil de travail pour ses propres recherches.

Ainsi défini, ce projet a pour but d'étudier la représentation des connaissances pour une (des) simulation interdisciplinaire et donc d'offrir des possibilités de transferts d'échelle.

3 LA MODELISATION

3.1 principes de modélisation

La recherche sur les pêches artisanales dans le Delta Central du Niger, qui se situe dans le cadre d'une réflexion menée en particulier à l'ORSTOM (Fontana, 1989), se pose en tant qu'étude de système ce qui fait référence, épistémologiquement, à la démarche systémique développée depuis plusieurs années par divers auteurs (LeMoigne, Morin, Durand, Delattre, Walliser...) en abordant un système dans sa globalité, dans sa complexité, dans son organisation et ses interactions plutôt que dans l'analyse réductionniste de ses composantes ou, dans le cas de l'halieutique, d'une de ces composantes, la ressource (cf contribution J. Quensière). Le système est considéré comme complexe et étudié en tant que tel. On passe du réductionnisme, de l'analyse du compliqué mais simplifiable, au complexe, irréductible mais organisé.

La systémique se pose comme modélisation de la complexité, étude de l'organisation, de la dynamique des interactions.

Le Moigne (1990) définit un principe de modélisation d'un phénomène perçu complexe décomposé en trois phases qui sont:

- le cadrage qui consiste à établir un modèle systémique ce qui a été fait au début de l'étude en abordant le problème (la pêche) en tant que système,
- le développement, qui consiste à documenter ce modèle, à établir les correspondances entre les traits de ce modèle systémique et les traits perçus du phénomène à modéliser, phase qui est effectuée depuis 1986 en continu.
- l'interprétation: c'est la simulation d'actions possibles sur le modèle pour anticiper les conséquences éventuelles dans le phénomène. L'interprétation nécessite donc un outil pour développer des simulations dans le but de gérer la connaissance acquise pour assister l'étude dans l'acquisition de nouvelles connaissances.

C'est pour élaborer cet outil de simulation qu'a été monté un projet qui se propose de modéliser **la connaissance acquise par les chercheurs**. La modélisation systémique consiste à élaborer un outil de représentation de la connaissance sur l'organisation, les interrelations entre composants du système, qui offre des possibilités de simulation pour valider ou invalider des hypothèses. Les résultats de ces simulations font apparaître les points où l'information est manquante ou imprécise et permettent ainsi de réorienter les études sur le terrain (Brossier, 1987; Poussin, 1987).

Une méthode pour étudier la complexité à l'aide d'une modélisation est dans le processus :

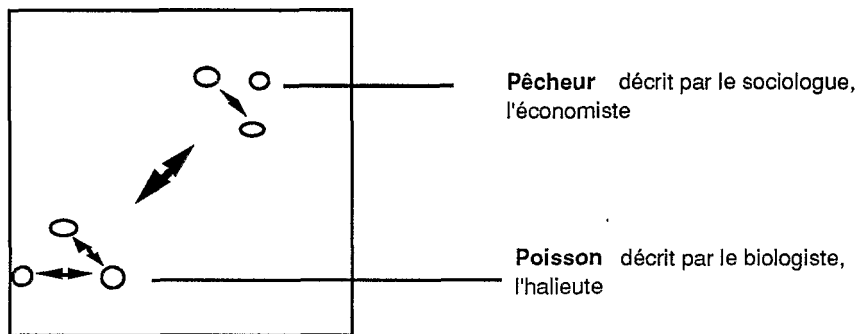
hypothèse -> simulation -> acquisition de connaissance
(par validation ou, au contraire, par un retour à l'objet d'étude)

Elle doit donc aboutir à un outil d'accès très facile (afin que le chercheur puisse le manipuler aisément) qui accompagne et oriente l'étude du système à partir des connaissances déjà acquises. Il a en effet été remarqué (Delattre, 1980) que la difficulté de la modélisation systémique réside dans l'élaboration d'un langage commun pluridisciplinaire. Il ne s'agit pas simplement de juxtaposer des concepts provenant des diverses disciplines car :

- d'une part comme nous l'avons montré les échelles de travail, les niveaux d'étude sont différents: la modélisation a pour but de représenter les effets d'échelle, de transférer les connaissances entre niveaux,
- d'autre part la précision des données et l'objectif des modèles sont très variables d'une discipline à l'autre.

Les modèles sont bâtis sur des échelles plus ou moins fines, fournissent des connaissances aux précisions différentes (parfois non évaluables). La variabilité n'est pas considérée sur les mêmes échelles spatiales et temporelles. Pour ces raisons ce projet propose un cadre de simulation où puissent s'exprimer les différents concepts en s'appuyant sur des objets communs (poissons, pêcheurs, biotopes, engins ...) définis par les différentes disciplines. Ces entités sont caractérisées par des attributs susceptibles de se modifier au gré d'évènements qui affectent le système considéré (Meyer, 1986).

Cadre de modélisation



En pratique, la modélisation est la représentation des déterminations des comportements des composants (Ex: pour un poisson l'espèce détermine le comportement de migration) et des conditions des comportements, des stimuli sur ces composants (Ex: la crue conditionne la migration), ces déterminations et conditions provenant de plusieurs échelles.

3.2 Déroulement d'une simulation

Pour l'utilisateur une manipulation se déroule à peu près comme suit:

- l'utilisateur choisit les objets, leurs attributs (on proposera par défaut des caractéristiques issues des études statistiques de façon à apporter à l'utilisateur la connaissance acquise, mais en laissant la liberté de faire d'autres choix), impose certains évènements (Ex: les dates de modifications hydrologiques).
- simulation dirigée par les évènements (action -> objet -> action) avec suivi à l'écran des actions, localisations, déplacements.
- les résultats (production d'un biotope, d'un engin, enrichissement d'un pêcheur...) sont affichés et pourront être expliqués: pour un évènement qui s'est produit on fournira les conditions et les déterminations qui l'ont provoqué.

Après avoir défini l'objectif de la modélisation, il reste à définir les techniques pour représenter les connaissances aux niveaux où elles ont été acquises et pour définir des structures de transfert entre les niveaux.

4 LES OUTILS POUR MODELISER

L'analyse de système fait en général appel à des techniques mathématiques (systèmes d'équations différentielles, processus matriciel discret, ...) pour gérer des flux entre différents compartiments du système ou pour simuler différentes stratégies. Si ces techniques sont performantes dans certains cas, dans le cadre d'une étude pluri-chercheurs comme le DCN elles s'avèrent d'une part lourdes et compliquées ce qui isole le modélisateur par rapport aux spécialistes, d'autre part trop éloignées du monde observé puisqu'on formalise des concepts (biomasse, densité de populations...) ce qui nuit à la communication interdisciplinaire et enfin trop rigides pour permettre une remise en cause rapide de la connaissance. " L'utilisation du langage mathématique - par nature et par vocation généralisateur- peut conduire à un formalisme qui isole l'approche systémique au lieu de l'ouvrir sur la pratique" (DeRosnay, 1975).

D'autre part se développent actuellement en Intelligence Artificielle des techniques qui apportent des solutions aux problèmes de la représentation des connaissances du projet DCN et des simulations à partir de cette connaissance (Widman, 1989).

4.1 les objets

4.1.1 Définitions

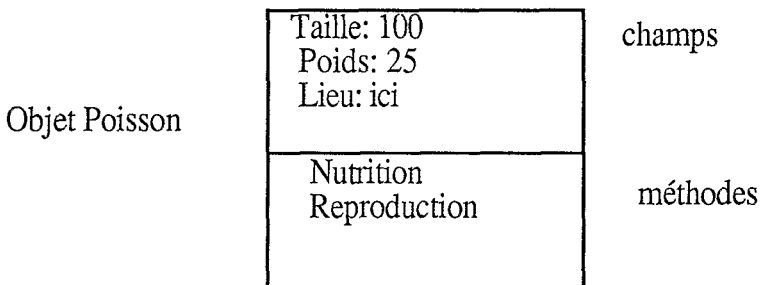
Les techniques de représentation objet offrent un outil à l'analyse de système car elles permettent de représenter un univers par les différents objets qui le composent, de définir la complexité du système par les interactions entre ces objets, de hiérarchiser la connaissance sur différents niveaux de précision, différents points de vue.

Au plan informatique, des langages (langages orientés objets LOO) ont été développés suivant ce principe. Ces langages reposent sur quelques principes fondamentaux qui sont, en résumé (Masini, 1989; Bailly, 1989):

Objet, encapsulation

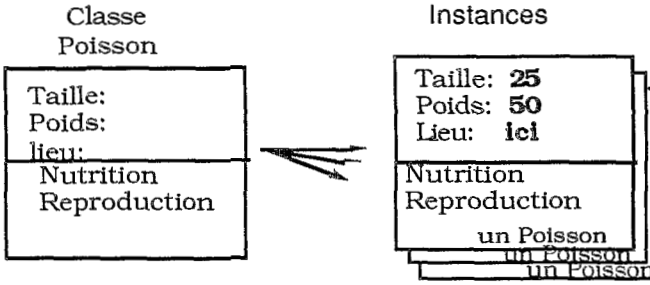
Un objet est un module élémentaire réunissant un certain nombre de données qui lui sont propres et de procédures qui les manipulent. Un objet représente à la fois un savoir déclaratif (base de données locale: les champs) et un savoir procédural (les méthodes). C'est une portion de connaissance possédant son propre contrôle (notion d'encapsulation) et pouvant vivre indépendamment de ses congénères. La connaissance globale est répartie sur les différents

objets. L'objet informatique peut correspondre simplement à des objets du monde réel ou à des concepts, des modèles.



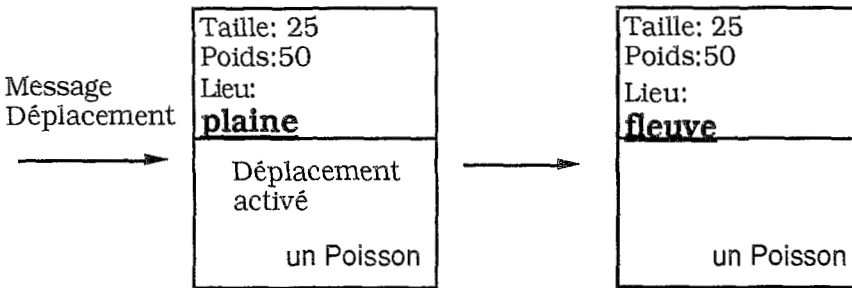
Classe, instanciation

Les objets ayant une même structure et même comportement sont regroupés dans une classe: c'est une représentation de type abstrait, un moule à partir duquel on fabrique autant d'exemplaires (les instances) que l'on veut. La classe spécifie la structure des objets.



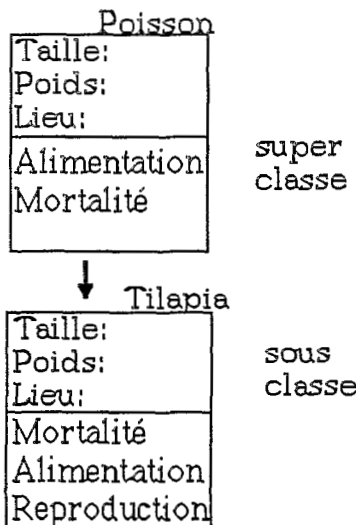
Message, requête dynamique

Les objets sont reliés à leur environnement par des messages. L'objet confronte le message avec ses méthodes et active celle qui lui correspond.



Héritage

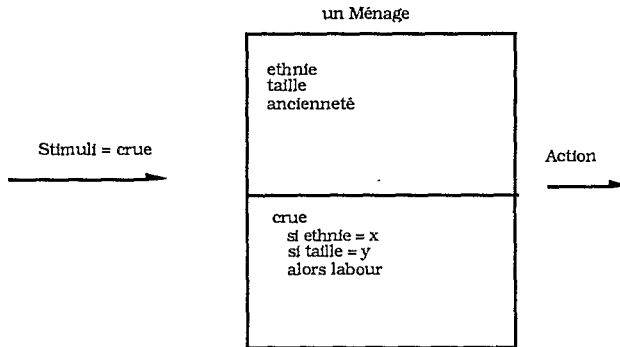
Une classe peut être définie comme une sous-classe d'une autre: les instances de la sous-classe héritent alors automatiquement des propriétés de la classe mère (super-classe), en plus de ses propres caractéristiques .



4.1.2 Les objets du système de la pêche du DCN

L'adéquation de la représentation objet au problème de la modélisation et de la simulation a été discutée dans plusieurs contributions (Pavé,1988-1989; Rechenmann,1989; Bailly,1989; Middleton,1985; Klahr 1985). La formalisation de la représentation des connaissances sur le DCN apparaît clairement: aux éléments du système (Poisson, Biotope, Pêcheur) correspondent des objets informatiques, possédant leurs caractéristiques propres (ethnie, espèce, taille...) et leurs méthodes.

Suivant la définition de la simulation proposée, les comportements sont fixés à l'intérieur des champs et des méthodes de chaque objet et les conditions de leurs comportements par les messages envoyés à ces objets.



Ainsi définis les objets permettent de représenter informatiquement les divers éléments du système de la pêche. L'analyse des données de l'enquête statistique, les recherches de chacun des chercheurs fournissent la connaissance sur ces différents objets.

Cependant, dans le cadre du programme DCN et donc dans le cadre de notre modélisation pluri-disciplinaire la connaissance sur les objets est structurée. Le système est vu par différents chercheurs, une simulation du système doit donc intégrer l'organisation, les communications entre les connaissances sur l'activité de la pêche. Pour appréhender la complexité, il est donc nécessaire de définir une couche au-dessus de l'objet, une structure de communication entre les sous-systèmes de connaissances.

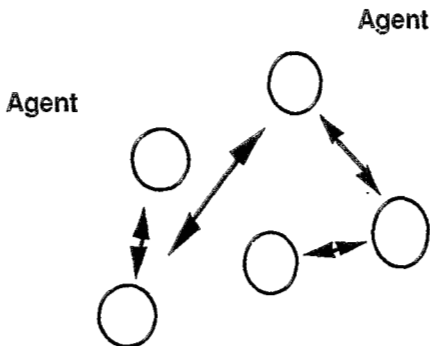
4.2 Les agents, les modèles de communication

4.2.1 Définitions

Les problèmes de communication entre agents intelligents font partie des domaines de recherche d'une branche de l'Intelligence Artificielle (IA), l'Intelligence Artificielle Distribuée (IAD) (Ferber,1989; Laasri,1989). "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 " (Ferber,1989).

Un agent peut être considéré soit comme un objet réel, soit comme un spécialiste disposant d'un ensemble de connaissances pour résoudre une sous-partie du problème. Les systèmes multi-agents diffèrent par la taille des agents, leurs nombres et leurs mécanismes de communication. On distingue deux modèles de communication:

- les systèmes qui communiquent par transmission de messages; les connaissances, les résultats partiels et les méthodes utilisées pour aboutir à un résultat sont distribués entre les agents qui s'envoient des messages. Les agents connaissent l'adresse d'un certain nombre d'autres agents avec qui ils communiquent.

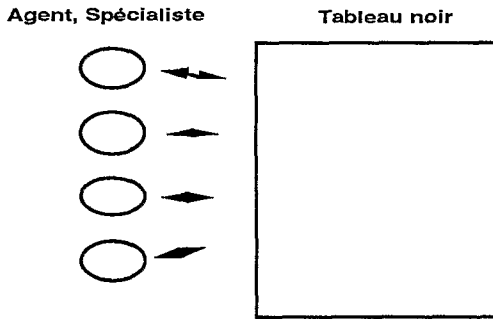


- les communications par partage d'information; l'architecture dite du tableau noir est le système de communication le plus répandu; elle permet de représenter :

- les agents ou spécialistes,

- la base partagée (le tableau noir proprement dit) qui représente les états partiels d'un problème en cours de résolution, l'état du système,
- un dispositif de contrôle qui gère et ordonne les interventions des différents agents.

Les agents n'ont pas besoin de se connaître pour s'envoyer des messages. La structure de contrôle est un intermédiaire qui repère les événements qui se passent dans le tableau noir et informe les spécialistes ou agents intéressés par ces événements. Ceux-ci sont activés, déclenchent eux-mêmes des événements récupérés par le contrôle, etc...



4.2..2 Choix d'une structure pour la modélisation

Bien que les deux structures puissent être envisagées pour élaborer la modélisation du système de la pêche la communication par tableau noir a été choisie car:

- le système est représenté dans son intégralité: il contient les agents qui le composent plus une structure de contrôle, de gestion des interactions. Cette structure contiendra la connaissance sur l'organisation des connaissances.
- cette architecture intègre **la connaissance du spécialiste (du chercheur)**, ce qui correspond au principe même de notre modélisation de la connaissance acquise. On retrouve la séparation objets-chercheurs, base partagée-sources de connaissances. Les agents, représentants des chercheurs, correspondent à un lot de règles sur un phénomène précis. Ainsi le chercheur peut intégrer ses propres connaissances dans un cadre commun où une structure de contrôle se charge de faire communiquer les différents modules experts.
- elle correspond à la démarche évolutive de ce projet de modélisation. Chaque spécialiste, en réponse à un événement donné réagit et laisse une trace de son comportement qui est récupérée par le module de contrôle pour en informer les agents intéressés. Au fur et à mesure de l'étude, les connaissances du

chercheur progressent et viennent s'ajouter aux règles du spécialiste informatique.

- elle fait l'objet de recherches informatiques plus nombreuses et plus avancées (ATOME, BB1,...).

En conclusion le cadre informatique correspond donc à une architecture de communication organisée en blackboard pour faire coopérer les connaissances des divers spécialistes, dans le but de simuler le comportement des différents éléments du système de la pêche représentés sous forme d'objets informatiques.

Dans le cadre des simulations DCN nous avons donc les correspondances suivantes:

- la base partagée (le blackboard) est l'ensemble des objets du système de la pêche: bancs de poissons, groupes de pêcheurs, biotopes, villages etc.... Chaque objet se comporte en respectant les règles énoncées par les spécialistes. Ces objets sont reliés entre eux, définissant ainsi l'état du système, la structure: par exemple un objet individu sera relié à l'objet Ménage qui lui correspond, lui même relié à l'objet Village...

- les agents qui sont des spécialistes (par exemple le micro-économiste, le biologiste ...) chacun disposant de sa connaissance sous forme de règles. Par exemple le spécialiste des migrations de poissons peut avoir une règle de la forme:

*Soit x Poisson
Soit y Plaine
Si x lieu = plaine
St y niveau_eau = descendant
Alors x lieu = chenal*

Cette règle manipule les objets Plaine et Poisson qui possèdent respectivement les attributs niveau_eau et lieu. Le déclenchement de chaque règle est indiqué sur l'écran de façon à pouvoir retrouver la séquence des modifications d'état. La connaissance sur les comportements des objets figure au niveau des spécialistes et pas des objets: c'est une modélisation à partir de la connaissance, des inter-relations entre connaissances.

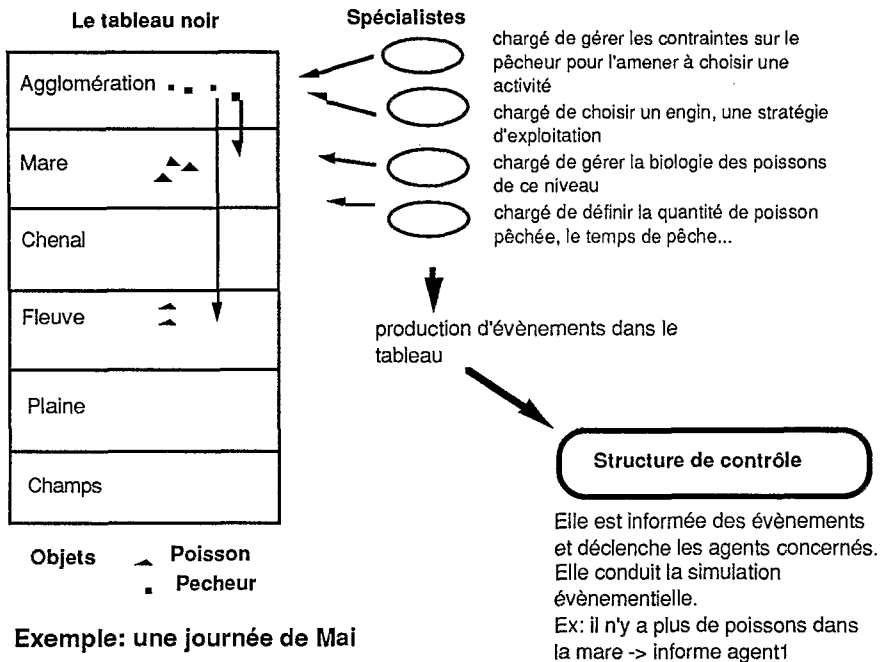
- le dispositif de contrôle permet de pouvoir gérer le déroulement de la simulation. Il est informé des événements, en avise les spécialistes intéressés, peut gérer des conflits entre spécialistes.

4.2.3 Exemple

Au moment d'envisager la gestion de l'espace qui est une valeur fondamentale on pourra par exemple considérer chaque portion

unitaire d'espace (un domaine de pêche composé de différents biotopes) comme un blackboard qui gère les comportements et évolutions des pêcheurs, poissons dans son domaine, et représenter une région (un ensemble de domaines de pêche) comme plusieurs blackboards qui travaillent en parallèle communiquent, les pêcheurs et poissons pouvant passer d'un domaine à l'autre, d'un blackboard à l'autre.

L'exemple suivant montre une éventuelle organisation en tableau noir pour l'exemple: les quelques objets et spécialistes montrés sont très simples et peu nombreux. La bonne représentation du système viendra en structurant de multiples agents aux tâches précises, ce qui permettra, au plan pratique, d'accéder rapidement aux règles de fonctionnement des agents pour les modifier.



Quantitativement il est possible de conduire des simulations avec un très grand nombre d'objets (plusieurs milliers) avec quelques spécialistes contenant une connaissance très simple, ou des simulations avec quelques dizaines d'objets et des spécialistes très riches en connaissance.

5 INTEGRATION DES TRANSFERTS D'ECHELLE DANS LE MODELE

Comme il a été présenté, les connaissances acquises ne portent pas toutes sur le niveau de l'individu ou du ménage mais sur différentes échelles correspondant soit à des degrés d'organisation, soit à des

échelles géographiques. L'organisation du modèle et les outils informatiques présentés permettent d'intégrer simplement les effets d'échelle.

Dans le cadre de la simulation, le transfert d'échelle est tout d'abord envisagé dans le sens descendant. L'acteur de la simulation, au plan humain, étant l'individu, on se représente aisément la propagation des contraintes des niveaux supérieurs (agglomération, région, delta) vers l'individu dont l'action sera ainsi déterminée. Cependant, le transfert d'échelle doit aussi être envisagé en sens ascendant, conformément à la notion de système; le système est plus que la juxtaposition des sous-systèmes: des comportements particuliers des éléments émerge un comportement de l'ensemble.

L'outil de simulation, d'étude du système, doit autoriser les transferts d'échelle dans le sens de la propagation de contraintes des niveaux supérieurs vers l'acteur comme dans le sens de l'émergence d'un comportement d'ensemble à partir des comportements individuels.

La modélisation informatique peut utiliser deux propriétés pour représenter les effets d'échelle:

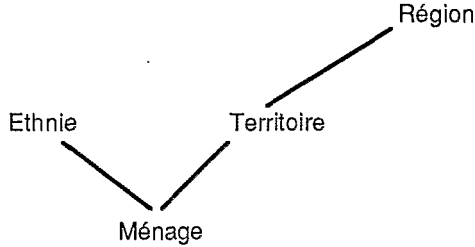
- L'héritage plus haut défini, qui correspond à une spécialisation; l'objet Poisson-d'eau-douce est une spécialisation de l'objet Poisson, il hérite de ses caractéristiques.
- Les objets composites: l'objet incorpore ses composantes qui sont elles mêmes des objets. Par exemple l'objet Poisson est composé d'objets Nageoire, Oeil, etc... En pratique il existera un champ de l'objet Poisson qui contiendra l'adresse d'objets Nageoire, un champ pour les objets Oeil, etc... Il n'y a pas d'héritage: la nageoire n'hériterait pas de la méthode nutrition.

Ces outils permettent le transfert entre les niveaux qu'il s'agisse de propagation de contraintes ou d'émergence.

5.1 La propagation des contraintes

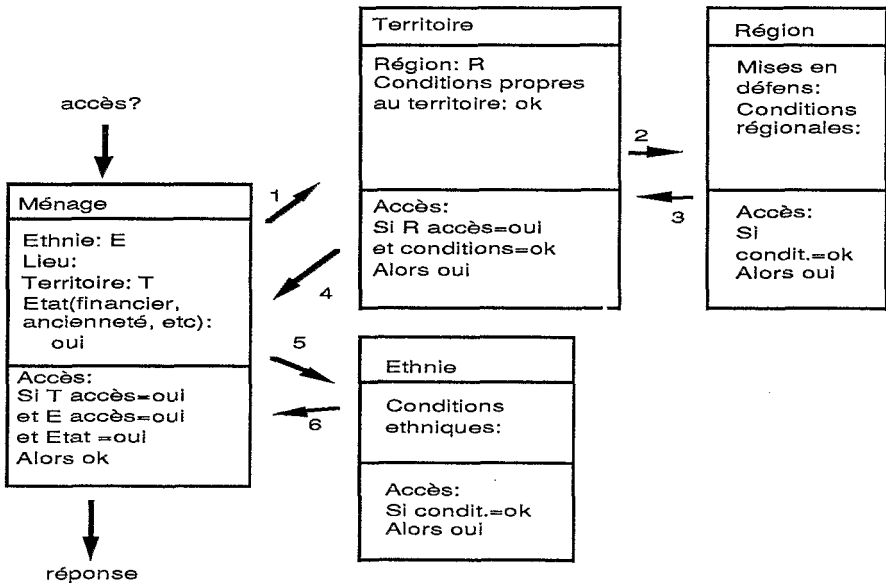
En prenant l'exemple d'un ménage qui à un moment du cycle de pêche se pose la question: ai-je accès à tel lieu de production? on identifie, schématiquement et de façon non exhaustive, des contraintes issues de son ethnie (attribution des engins, période de pêche), de la région qui définit les rapports aux autres groupes (articulation des productions, échanges économiques, organisation foncière), du territoire qui définit l'environnement humain et écologique proche, de ses caractéristiques propres (taille de son ménage, endettement, ancienneté de fixation). La décision du ménage sera déterminée par l'organisation de ces contraintes.

Au plan informatique sont créés des objets composites Région, Territoire, Ethnie reliés aux objets Ménage: une région comprend une collection de territoires, eux-mêmes composés de collections de ménages. Par ailleurs une ethnie comprend elle aussi une collection de ménage (ces objets composites sont un peu particuliers car leurs composantes sont toutes du même type). Ainsi un ménage est caractérisé par l'arbre de propagation des contraintes suivant:



Au moment de décider d'une action le ménage évalue les contraintes en parcourant l'arbre suivant un ordre prédéfini. La définition de cet ordre pourra faire l'objet de différentes simulations: le ménage est-il d'abord d'une ethnie puis d'une région ou l'inverse, en d'autres termes quel est l'ordre des contraintes, existe t'il une hiérarchie des contraintes?

Une méthode de l'objet Ménage interroge d'abord l'objet Territoire qui lui correspond qui interroge lui même l'objet Région, puis l'objet Ethnie pour évaluer la résultante des contraintes et la décision de l'objet Ménage.



De cette façon il est possible d'intégrer la connaissance du chercheur au niveau requis et d'assurer le transfert des contraintes entre niveaux.

5.2 Emergence

Le programme DCN doit aborder le système de la pêche dans sa globalité, dans sa complexité. Un des enjeux est de définir une dynamique globale du système en étudiant les interactions, en montrant comment, des comportements de chaque sous-système émerge une dynamique globale. Le sens du transfert d'échelle est inversé, il ne s'agit plus de propagation de contraintes mais d'une émergence du niveau inférieur vers le niveau supérieur.

Par exemple, schématiquement, à l'échelle du ménage, un ménage d'ethnie bozo (pêcheurs), ayant pour objectif d'assurer son alimentation n'aura pas la même stratégie s'il demeure sur un territoire composé uniquement de bozos ou bien si travaillent sur le territoire des ménages d'ethnies cultivatrices qui lui offrent un contexte (main d'oeuvre, organisation, etc...) propice à l'agriculture. Il émerge donc au niveau supérieur, à l'échelle du village, des règles, des contraintes (schématiquement, dans un village mixte, un ménage bozo consacrerait un effort moins grand à la pêche que dans un village mono-ethnique) qui proviennent des interactions entre membres du niveau inférieur.

En pratique le territoire peut être représenté comme un objet composite avec un champ comprenant une collection de ménages et une méthode chargée d'énumérer dans cette collection les représentants des différentes ethnies. S'il existe un équilibre entre les ethnies, alors les ménages diversifieront leurs activités sinon ils se spécialiseront.

Cet exemple représente des règles qui sont le résultat d'une émergence déjà formalisée par le chercheur, à partir des conditions au niveau inférieur. Par ailleurs, et de façon plus adaptée au problème, l'outil de simulation pourra servir au chercheur pour une aide à la formalisation elle-même, pour observer, à partir d'hypothèses sur le comportement des objets d'un niveau, l'émergence d'un comportement stable au niveau supérieur. Ainsi, en provoquant plusieurs simulations avec différentes stratégies des ménages, l'utilisateur pourra étudier comment ils s'organisent entre eux, les résultats de ces stratégies au plan financier, alimentaire pour faire apparaître des comportements de groupe.

La comparaison de ces résultats à la réalité du terrain montre les connaissances imprécises ou manquantes: c'est bien là l'objectif de ce projet qui consiste à apporter un outil de simulation au chercheur pour lui permettre de tester des hypothèses, de définir l'échelle à laquelle un phénomène doit être abordé et pour poser des questions pertinentes.

6 CONCLUSION

L'outil de modélisation élaboré pour représenter la connaissance multi-disciplinaire du programme DCN est un cadre informatique qui simule le fonctionnement du système en représentant la connaissance acquise par les chercheurs. Ces connaissances sont représentées aux échelles où elles ont été définies, la structure informatique permettant de les transférer des niveaux supérieurs vers le niveau inférieur pour la propagation des contraintes comme dans le sens inverse pour étudier l'émergence de comportements globaux, ce qui permet de s'intéresser par simulation à des dynamiques émergence au niveau supérieur-retour sous forme de contraintes.

Cet outil correspond à un cadre de travail pour les chercheurs, pour l'aide à la recherche. Son but est de pouvoir travailler des problèmes pluri-disciplinaires. Il sera tout d'abord nécessaire de susciter un transfert des concepts de chaque discipline vers les objets définis conjointement. Pour cela seront conduites des simulations avec les chercheurs de chaque discipline, testant des hypothèses simples qui poseront alors des questions d'échelles spatiales, de niveau de représentation, d'organisation, etc ... La deuxième phase consistera à travailler les relations entre les disciplines pour aborder des problèmes de hiérarchisation, d'articulation entre contraintes pour une représentation du système dans sa globalité.

BIBLIOGRAPHIE

- Bailly B., Challine J.F., Ferri H-C, Gloess P.Y., Marchesin B., 1989, *Les langages orientés-objets*, Cepadues-éditions.
- Brossier J. 1987, Système et système de production- Note sur ces concepts, *Cahier des sciences humaines vol. 23- n° 3-4 ORSTOM*.
- Charles-Dominique 1989, Halieutique et pêches artisanales: anciennes méthodes, nouvelles problématiques, *Doc. ORSTOM-IFREMER, La recherche face à la pêche artisanale, T 1*.
- Delattre 1980, Théorie des systèmes et épistémologie, *La notion de système dans les sciences contemporaines, Librairies de l'université, Aix en Provence*.
- De Rosnay J., *Le Macroscopie*, Le Seuil, 1975.
- Durand D. 1990, *La systémique*, Que sais-je, PUF.
- Fay C. 1989c Rapport sociologique: pratique halieutique et stratégies de production, 53p. dact., à paraître dans *INRZFH-ORSTOM, Etudes halieutiques dans le Delta Central du Niger, 1990*.

- Fontana A. 1989, Quelle halieutique pour l'ORSTOM, *document ORSTOM*.
- Ferber 1989, *Objets et agents: une étude des structures de représentation et de communications en Intelligence Artificielle*, Thèse d'état, Paris 6.
- Klahr 1986, Expressibility in ROSS, an object-oriented simulation system, AI applied to simulation, *Simulation Series, Vol. 18*
- Laasri H., Maitre B., *Coopération dans un univers multi-agents basée sur le modèle du blackboard: études et réalisations*, Thèse, Nancy 1.
- Laloë, Samba, 1989, *La pêche artisanale au Sénégal: ressource et stratégie de pêche*, Thèse Paris-Orsay.
- Le Moigne 1980, Systémique et épistémologie, *La notion de système dans les sciences contemporaines*, Librairies de l'université, Aix en Provence.
- Le Moigne 1990, *La modélisation des systèmes complexes*, Dunod.
- Masini G., Napoli A., Colnet D., Léonard D., Tombre K., 1989, *Les langages à objets*, Interéditions.
- Meyer J.A., Les langages et techniques de simulation, cours de DEA biomathématiques
- Middleton, Zanconato 1986, BLOBS: an object-oriented simulation system, AI applied to simulation, *Simulation Series, Vol. 18*
- Pavé A. 1988, EDORA: modélisation de systèmes biologiques, *Cahiers d'EDORA, rapport de recherche INRIA N°866*.
- Pavé A., 1989, Object Centered representation and problems related to living systems in nature, in *Artificial Intelligence in numerical and symbolic simulation*. Edited by Pavé & Vansteenkiste.
- Poussin J.C. 1987, Notions de système et de modèle, *Cahier des sciences humaines vol. 23- n° 3-4 ORSTOM*.
- Quensière J. 1988, Introduction, *Etudes halieutiques du DCN, Enquête statistique auprès des pêcheurs, premiers résultats*, ORSTOM-INRZFH, Bamako.
- Rechenmann, Uvietta, 1989, Shirka: an object Centered Knowledge based management system... in *Artificial Intelligence in numerical and symbolic simulation*. Edited by Pavé & Vansteenkiste.
- Thom R. 1987, La théorie des catastrophes et ses applications, *Revue internationale de systémique, vol 1*.
- Uvietta P. 1989, Modélisation et simulation du système climat-vigne-viticulteur. Quelques réflexions sur la méthode. *Revue internationale de systémique, Vol 3*.

Walliser B., *Systèmes et Modèles*, Le Seuil, 1977.

Weber 1990, Groupe de travail l'halieutique à l'ORSTOM, rapport provisoire.

Widman L.E, Loparo K.A., Nielsen N.R., 1989, *Artificial Intelligence, Simulation and Modelling*, Wiley Interscience.