



**HAL**  
open science

## **MODELE DE COMMUNICATION POUR DES AGENTS D'ASSISTANCE DANS LES SYSTEMES COMPLEXES**

Alain-Jérôme Fougères

► **To cite this version:**

Alain-Jérôme Fougères. MODELE DE COMMUNICATION POUR DES AGENTS D'ASSISTANCE DANS LES SYSTEMES COMPLEXES. SETIT'03, Mar 2003, Sousse, Tunisie. pp.1-8. <hal-00574055>

**HAL Id: hal-00574055**

**<https://hal.science/hal-00574055v1>**

Submitted on 7 Mar 2011

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

# MODELE DE COMMUNICATION POUR DES AGENTS D'ASSISTANCE DANS LES SYSTEMES COMPLEXES

Alain-Jérôme Fougères<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*M3M - Université de Technologie de Belfort-Montbéliard  
Rue du château Sévenans, 90010 BELFORT - France*

**Alain-Jerome.fougeres@utbm.fr**

## Résumé :

Les systèmes multi-agents permettent de coordonner le comportement d'agents intelligents interagissant et communiquant dans une société pour réaliser des tâches ou résoudre des problèmes. Il nous semble donc bien adaptés pour concevoir une multi-assistance destinée à des utilisateurs de systèmes complexes – chaque agent représentant un niveau d'assistance. L'approche formelle que nous suivons consiste à définir une architecture modulaire pour ce type d'agents, à définir leur modèle de communication et de connaissance, à adopter une méthodologie rigoureuse d'acquisition de leur expertise. Dans l'intention d'illustrer notre approche, nous présenterons un système de simulation et de détection d'épidémies. Les épidémiologistes disposent d'un certain nombre d'indices qui leur permettent de différencier, sur la base d'accumulation de symptômes sur des individus, les cas isolés d'une maladie ou la conséquence d'une contagion (épidémie). Le système conçu sur la base de l'organisation de la santé publique, permet de simuler des cas de maladies (locaux ou épars) et d'établir régulièrement des rapports de diagnostics d'éventuelles épidémies.

MOTS-CLES : Système multi-agents, processus cognitif, représentation des connaissances, modèle de communication.

## 1. Introduction

L'utilisation de systèmes d'information complexes, fortement interactifs et parfois distribués, doit comporter des niveaux suffisants d'assistance. L'identification des différents niveaux d'assistance nécessaires peut conduire à concevoir un véritable système de multi-assistance dans lequel la communication homme-machine jouera un rôle majeur. Les processus dynamiques, coopératifs et autonomes nécessaires à cette interaction doivent alors intégrer une représentation des connaissances et des comportements de l'utilisateur et posséder de réelle capacité à communiquer. L'approche multi-agents offre un niveau d'abstraction adapté à cette problématique. En effet, les systèmes multi-agents (SMA) permettent de coordonner le comportement d'agents intelligents interagissant dans une société pour réaliser des tâches ou résoudre des problèmes [SHO 93 ; FER 97].

Après avoir étudié le contexte organisationnel des SMA dans le cadre d'une simulation de la réorganisation d'un atelier flexible, puis celui de la régulation d'un système de transport urbain, nous nous concentrons sur la modélisation des agents dits "cognitifs", ayant de réelles capacités de communication, leur permettant d'être retenus comme éléments de bases pour la conception de systèmes d'assistance à l'utilisateur de systèmes complexes. Nos réflexions se sont portées sur les modèles reconnus dans le domaine des « Human-Computer Interaction » et en particulier sur l'approche récente appelée « cognitive engineering ». Les modèles d'interaction induits entre système et utilisateur nécessitent de définir l'interaction entre des agents cognitifs dotés de réelles capacités cognitives.

Cet article est structuré comme suit : dans la section 2 nous proposons une définition systémique de l'organisation de systèmes d'information complexes qui met en évidence le nécessaire rapprochement entre la structure décisionnelle et la structure physique. La section 3 est consacrée à la description d'une représentation agent de ces systèmes, à savoir une modélisation systémique de l'organisation des composants et la description des éléments de l'architecture des agents cognitifs. Les deux sections suivantes sont consacrées aux capacités à communiquer et interagir des agents, au travers de la description du modèle de communication retenu, puis du modèle de connaissance élaboré pour le contexte de communication entre agents (représentation et acquisition des connaissances de chaque agent dans le but d'établir leurs expertises respectives). La section 6 est consacrée à l'étude de la mise en œuvre de notre modélisation sur un double système : nous décrivons successivement un système de détection d'épidémies, puis le système de simulation de ces épidémies. Finalement, en section 7, nous donnons quelques conclusions sur notre approche de modélisation, puis nous évoquons les prolongations de notre travail.

## 2. Modélisation des systèmes complexes

Dans cette section nous décrivons une stratégie d'organisation de systèmes d'information complexes et distribués, centrée sur la notion de réactivité. Cette nécessité de réactivité provient d'une vision des organisations dans lesquelles les acteurs se voient augmenter leur degré d'autonomie et de flexibilité. Ceci se traduit par une distribution de la prise de décision aux différents niveaux de l'organisation et par un rapprochement entre la structure décisionnelle et la structure physique – "La décision comme phénomène de changement et comme phénomène systémique" [CRO 77].

La figure suivante (figure 1) présente le schéma de modélisation systémique proposé par Jean-Louis Ermine dans [ERM 00] qui a inspiré notre réflexion. Il reprend le schéma classique OID (Opérations, Information-mémorisation et Décision) [LEM 90] auquel il intègre un quatrième système permettant la circulation des connaissances.

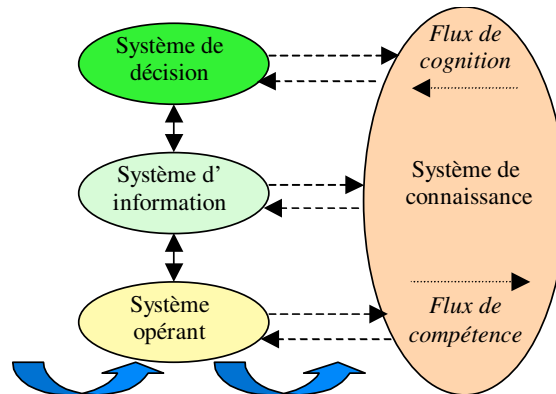


Figure 1. Les quatre composants de la modélisation systémique des systèmes de connaissances.

- Le **système de décision** : ensemble des éléments et relations qui effectuent le contrôle et la régulation des transformations du système.
- Le **système d'information** : dont le rôle est la transmission des décisions prises par le système de décision au système opérationnel.
- Le **système opérant** : ensemble des processus physiques de production mis en oeuvre par des ressources humaines, physiques et techniques.
- Le **système de connaissances** : ensemble de flux créant des interrelations actives avec les autres sous-systèmes – les *flux de compétences* (production de connaissances) et les *flux de cognition* (activités de cognition).

À partir de travaux menés à l'École des Mines de Saint-Etienne [OUZ 96], fondés sur l'analyse modulaire des systèmes [MEL 91], nous nous sommes intéressés à la construction d'une démarche formelle pour la modélisation d'organisations de systèmes d'information complexes [FOU 02]. La méthodologie proposée initialement par J. Mèlèse permet de représenter sur un modèle unique, à la fois l'activité (centre d'activité) et le comportement décisionnel des acteurs (centre de décision). Ceci permet d'identifier les différents composants de l'organisation et de décrire les phénomènes de prise de décision par l'intégration de concepts cognitifs (un modèle de processus cognitif : [Réception/Perception, Interprétation/Décision, Réaction/Action]). Un centre de décision est constitué de connaissances du domaine, de rationalités, d'intentions, et d'informations perçues et reçues de l'environnement. Il pilote un centre d'activités en lui transmettant des décisions qui résultent d'un processus de raisonnement sur l'ensemble de ses connaissances. Les centres de décision sont spécifiés sous la forme d'agents cognitifs, autonomes (*ie* degrés de liberté dans la prise de décision) et interdépendants (*ie* prise de décisions à partir de connaissances partagées du système). Les interactions entre agents cognitifs facilitent le travail collectif : chaque agent possède une connaissance parcellaire du système et tous coopèrent à la réalisation d'un même objectif global.

## 3. La modélisation agent

Le principal intérêt des SMA est qu'ils permettent de distribuer des agents, entités communicantes, autonomes, réactives et dotées de compétences [FER 97]. Pour réaliser un SMA selon ces critères définis, il faut doter chaque agent, considéré comme étant « cognitif », des trois propriétés suivantes :

- **Indépendance** : un agent, considéré comme une entité autonome susceptible d'accomplir des tâches concourantes, doit posséder son propre ensemble de ressources et de connaissances.
- **Communication** : des agents qui collaborent doivent pouvoir communiquer pour s'échanger des informations.
- **Intelligence** : les agents poursuivent des buts en fonction de leurs compétences, ils doivent donc posséder, en plus de leurs propres connaissances, des mécanismes pour raisonner (leur expertise et leurs savoirs-faire).

Pour modéliser de tels agents il nous faut définir leur architecture (fonctions et interactions cognitives), ainsi que la structuration des connaissances nécessaires pour leurs différentes activités.

### 3.1. Eléments de modélisation

La définition que nous avons retenue pour distinguer les concepts d'agents réactifs et cognitifs est adaptée du modèle à 3 niveaux de l'opérateur de Rasmussen [RAS 83] (comportement réflexe, comportement à base de règles, comportement à base de connaissances avec interprétation, décision et plan). Nous l'avons interprété comme modèle de processus de nos agents. Ainsi les agents sont pour nous ni cognitifs, ni réactifs ; ils ont des comportements adaptés aux tâches qu'ils réalisent :

- **Def** Agent ::= <Perception, Communication/langage, Buts/intentions, Décision/plan, Contrôle, Identification/Interprétation, Actions/Réactions, Connaissances/Mémoire>.

### 3.2. Architecture d'un agent

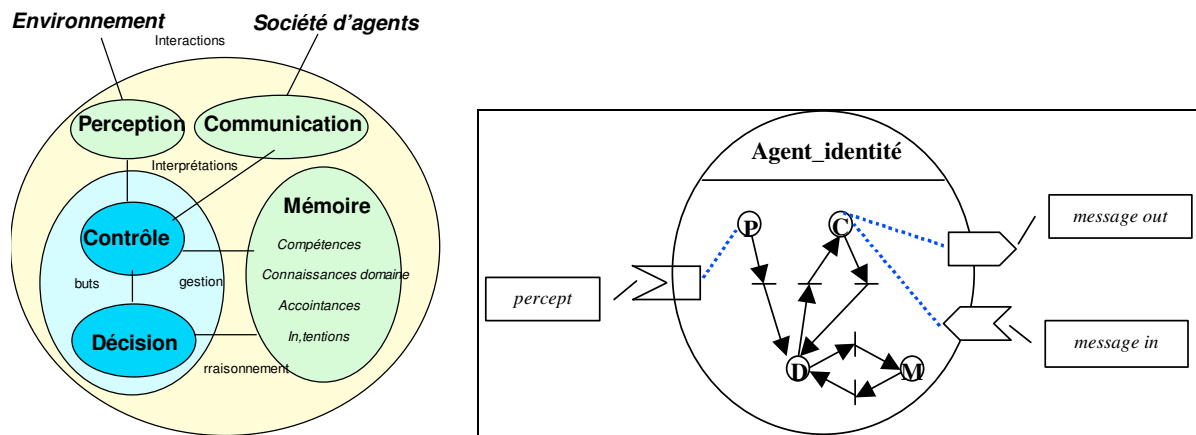


Figure 2. Schéma de l'architecture modulaire d'un agent cognitif et son modèle.

L'architecture générale d'un agent que nous proposons (figure 2) est inspirée de la théorie de modularité de J. Fodor [FOD 83]. Elle est composée de cinq modules gérant les connaissances, la perception, la communication, le contrôle et le raisonnement de l'agent:

- Le module de perception : c'est le processus permettant l'acquisition des connaissances sur l'environnement (données et variables) dans lequel évolue l'agent. Les opérations de ce module correspondent aux deux premières phases du modèle de processus cognitif décrit par Rasmussen (<acquisition, interprétation, traitement, action>). L'observation dans le cadre de l'acquisition des informations est réalisée selon deux modes : un mode intentionnel dans le cas de la poursuite de buts et un mode attentif quand l'agent est disponible. L'interprétation des informations doit être associée à la vérification de leur pertinence.
- Le module de communication : c'est le mécanisme d'interactions de l'agent avec la communauté d'agents. Nous insistons sur le fait que pour qualifier les agents d'agents intelligents, il est essentiel de prouver leur capacité à communiquer dans un but individuel ou collectif. Le module de communication reçoit des messages, les interprète et peut en transmettre sur décision du module de contrôle. Pour communiquer avec les autres agents et exprimer leurs intentions, comme défini dans la théorie des actes de langage (cf. §4), les agents utilisent un protocole de communication basé sur le langage KQML (Knowledge Query and Manipulation Language) [FIN 94]. Dans le cadre de notre travail sur l'amélioration des capacités de communication des agents, nous définissons un noyau de langage naturel contraint [FOU 99]. Ce langage sera employé par des agents définis pour un système tutoriel [FOU 01] et offrira des perspectives pour des projets de forte assistance à l'utilisateur (outils d'aide, communication homme-machine).
- Le module de contrôle : il gère l'ensemble des modules de l'agent à l'aide de connaissances sur la synchronisation et le contrôle des tâches internes (par exemple l'analyse de messages), et des tâches externes concernant la collaboration avec d'autres agents. Le traitement d'informations ou de messages reçus se décompose en quatre phases : une formalisation de l'information, la détermination des tâches à réaliser, la transmission des actions possibles pour résoudre ces tâches au module de raisonnement et la transmission de la réponse (décision) au module de communication. Le module de contrôle, associé au module de décision, constitue le système central de l'agent ; les autres modules constituant le système périphérique [FOD 83].
- Le module de décision : c'est le processus qui permet à l'agent de raisonner pour prendre des décisions de manière autonome. En fonction des connaissances contenues dans le module cognitif (compétences, accointances, intentions, croyances) et du type de décisions à prendre, le module de décision infère les séquences d'actions qu'il doit transmettre au module de contrôle. Ce module en fait, après une phase d'observation puis une évaluation de la

situation (fusion d'informations), est capable de prendre une décision sur les futures actions à effectuer. Ceci correspond aux deux dernières phases du modèle de processus cognitif exposé dans la description du module de perception. Les modèles retenus pour spécifier ces prises de décision (*ie.* résolution de problème) sont, d'une part l'échelle de décision [RAS 80] pour le mode attentif, et d'autre part la théorie de l'action [NOR 86] pour le mode intentionnel lié à la poursuite de buts.

- Le module de mémoire : ce module est caractérisé par des accointances (connaissances sur les autres agents du système), des compétences (ensemble de connaissances sur les tâches et les procédures que peut réaliser un agent, décrites selon la méthode MAD [SCA 90]), ainsi que des intentions/rationalités qui correspondent aux motivations personnelles de l'agent (intentions) et aux modes d'évaluation (rationalités). La référence à des connaissances (utilisation de la mémoire) est effectuée par un agent selon le principe du modèle ACT [AND 83]. Celui-ci est caractérisé par la différenciation entre une mémoire permanente (mémoire à long terme) et une mémoire de travail (mémoire à court terme). La représentation formelle des connaissances, ainsi que leur acquisition, sont décrites plus loin (cf. §5.2).

Nous ajouterons à cette description que les agents sont des entités hétérogènes aux modes d'interactions variés et aux comportements complexes. Une modélisation de SMA doit pouvoir définir le type d'organisation des agents et la capacité d'évolution de cette dernière.

#### 4. Modèle de communication

La communication est le principal mécanisme d'interactions d'un agent avec la communauté des agents. Nous insistons sur le fait que pour qualifier un agent d'"intelligent" il est essentiel de prouver ces capacités à communiquer dans un but individuel ou collectif. Nous avons déjà précisé que pour communiquer entre eux (information ou dialogue), les agents expriment leurs intentions selon le langage KQML, dérivé de la théorie des actes de langages [SEA 72 ; COH 90]. La forme générale d'un acte de langage est donnée par J. Searle sous l'expression  $F(p)$ , avec  $F = \{\text{Affirmer, Demander, Promettre, Exprimer, Déclarer}\}$  et  $p$  une proposition. Le format que nous avons retenu est défini par le quintuplet  $\langle \text{intention, émetteur, récepteur, langage, message} \rangle$ . Il permet de représenter le contexte, l'intention et le message de la communication. Ci-dessous un échange d'informations entre un malade et un médecin lors d'une consultation médicale simulée (le médecin cherchant à vérifier une hypothèse de coqueluche) :

(exprimer,	(demander,
:émetteur patient(Pi),	:émetteur médecin(Mj),
:récepteur médecin(Mj),	:récepteur patient(Pi),
:langage prédicat,	:langage prédicat,
:message (symptôme(fatigue))	:message (symptôme(vomissements))
)	)

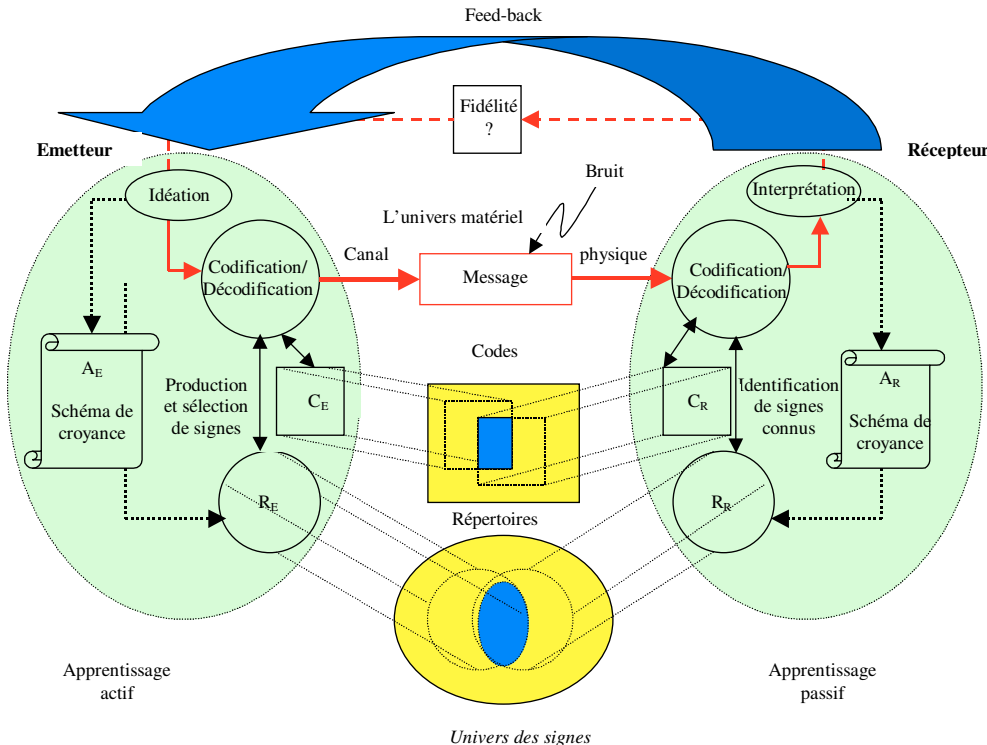


Figure 3. Modèle de communication entre agent intégrant le feed-back et la constitution des croyances.

Le schéma canonique d'Abraham Moles [MOL 86], que nous avons augmenté des notions de feed-back et de schéma de croyances (figure 3), résume tous les éléments qui interviennent dans l'acte de communication : intentionnalité et communication réciproque (ie échange d'informations). A gauche, l'idéation crée le message par une représentation mentale, puis celui-ci est codé en utilisant les règles du code  $C_e$  et en puisant les signes dans le répertoire  $R_e$ . A droite, le récepteur décode le message en identifiant les signes avec ceux qu'il possède dans son propre répertoire  $R_r$ . Puis il les intègre en faisant usage des règles de code qu'il connaît  $C_r$ , dans une forme globale constituant une image mentale plus ou moins fidèle à celle de l'origine. Les répertoires  $R_e$  et  $R_r$  se modifient peu à peu dans la série des actes de communications par un apprentissage qui tend à accroître la communauté des répertoires.

La représentation des connaissances d'un agent élaborée dans un contexte de communication/dialogue ( $A_E$  et  $A_R$ ), respectant le modèle des actes de langages (Austin, Searle), est réalisée sous la forme d'un schéma de croyances. Celui-ci est constitué d'un ensemble de frames (ie réseau de frames) avec des niveaux de croyances/connaissance ( $\{ \textit{Croit, Sait, Déduit} \}$ ) établis lors de la communication par l'intermédiaire des actes illocutoires définis dans la taxinomie de Searle : *Frame* :  $\langle \textit{accointances, agent, niveau de connaissance, proposition} \rangle$ .

## 5. Modélisation des connaissances des agents

Nous venons d'exposer que l'architecture générale d'un agent est composée de cinq modules gérant les connaissances, la perception, la communication, le contrôle et le raisonnement de l'agent. De façon plus précise, le module cognitif contient l'ensemble des connaissances propres à chaque agent : les accointances (connaissances sur les autres agents), les compétences (connaissances sur les règles de fonctionnement et l'état du système), ainsi que les intentions (motivations personnelles de l'agent). Nous décrivons ci-dessous les différentes phases d'élaboration de la base de connaissances de chaque agent, comme nous l'avons déjà expérimentée pour l'acquisition de l'expertise métier de l'agent tuteur d'un système tutoriel intelligent exploité en milieu professionnel [FOU 01].

### 5.1. La construction de la base de connaissances des agents

Les connaissances d'un agent sont représentées par des structures relationnelles d'objets, d'actions et de décisions et par des règles d'inférences : *Def connaissance* =  $\{ \textit{objets, faits, règles, relations} \}$ .

Pour réaliser cette conceptualisation nous disposons de deux types de connaissances [KAY 97] : les connaissances terminologiques désignant les objets du domaine et les connaissances assertionnelles, élaborées à partir de l'analyse d'entretiens avec les experts humains que les agents doivent simuler. Pour diriger cette phase de modélisation conceptuelle nous avons retenu la méthode KOD [VOG 88].

### 5.2. L'identification et la formalisation de la connaissance avec KOD

Une première étape terminologique permet de collecter l'ensemble des éléments primitifs du domaine, il s'agit ensuite d'établir les liens structurants entre ces éléments et de leur donner une signification précise (formalisation sémantique). La méthode KOD propose trois modèles : le modèle pratique, le modèle cognitif et le modèle informatique. Nous ne considérons ici que les deux premiers modèles, le dernier étant lié à l'implémentation (nous avons choisi le langage des *frames*, conjugué avec l'utilisation de règles de production - nous préconisons par ailleurs XML comme format de données). Le modèle pratique est la représentation d'un texte exprimé en langage naturel au moyen d'éléments appelés *taxèmes*, *actèmes* et *schémèmes*. Le modèle cognitif est une abstraction du modèle pratique. Il propose une représentation du processus mental de l'expert qui constitue sa connaissance :

- Les **taxèmes** (identification des objets), sont représentés par le triplet  $\langle \textit{objet, attribut, valeur} \rangle$ , puis structurés en taxinomies. Exemple :  $\langle \textit{coqueluche, symptome, [toux, cyanose, fatigue, vomissements]} \rangle$ 
  - $\%frame(\textit{objet, propriété, facette, valeur})$ .
  - $frame(\textit{coqueluche, symptome, enfants, [toux\_quinteuse, cyanose, fatigue, vomissements]})$ .
- Les **actèmes** (identification des actions), sont représentés par le septuplet  $\langle \textit{destinateur, action, destinataire, propriétés, état\_ant, état\_post, instruments} \rangle$ , puis structurés en actinomies. Exemple :  $\langle \textit{individu, consulter, médecin, malade, symptôme, diagnostic, messages} \rangle$ 
  - $\%frame(\textit{action, agent, objet/état, valeur})$ .
  - $frame(\textit{consulter, individu, symptôme, toux})$ .
- Les **schémèmes** sont recensés par identification des inférences. Exemple : **SI** (le patient est un enfant, il a de la toux et une congestion du visage) **ALORS** (hypothèse de coqueluche)
  - $\%regle([\textit{frames\_condition}], [\textit{frames\_conclusion}])$ .
  - $regle([\textit{frame(individu, catégorie, valeur, enfant), frame(symptôme, toux, valeur, quinteuse), frame(symptôme, congestion, localisation, visage)], [\textit{frame(hypothèse, maladie, valeur, coqueluche)}])$ .

## 6. Etude de cas

Le système global (figure 4) est composé de 3 sous-systèmes : un SMA pour la simulation des épidémies, un SMA pour la détection d'éventuelles épidémies et un système d'aide à la décision exploitant des connaissances médicales permettant de diagnostiquer à la fois des maladies et des épidémies. Chaque agent du système de détection d'épidémies possède ses propres connaissances pour établir les diagnostics en relation avec les rôles qu'ils jouent au sein de l'organisation et de leur environnement. La prise de décision est ainsi répartie. Le système d'aide a donc pour réelle vocation d'assister les agents sur leur initiative, ainsi que de participer au processus de mémorisation.

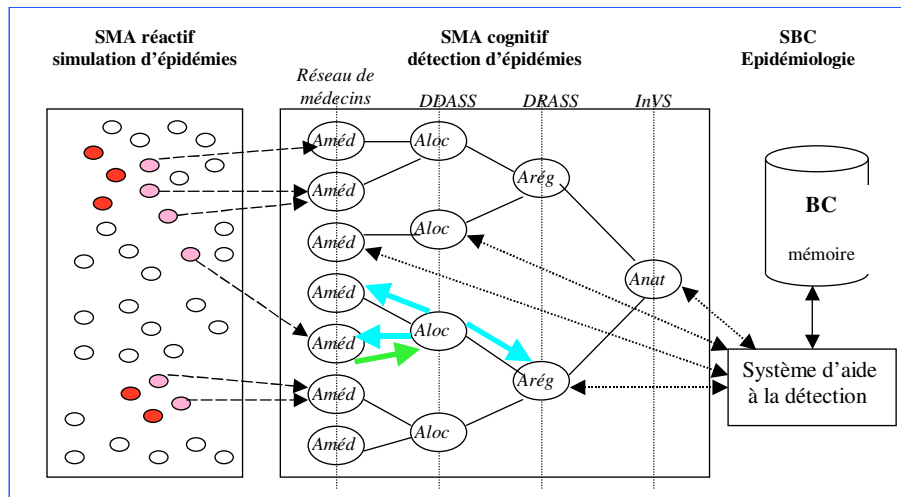


Figure 4. L'architecture globale du système.

### 6.1. Le SMA de simulation d'épidémies

Ce SMA réactif, apparenté aux systèmes mis en œuvre dans les projets de vie artificielle [QUI 99], est composé de deux types d'agents aux comportements essentiellement réactifs :

- Les agents *contaminateurs* (*Acont*). Ce sont des agents d'infections, porteurs des maladies admises dans le système (vecteurs de la contamination), notamment les maladies à déclaration obligatoire [BEH 99]. Ils disparaissent lorsque la transmission à un agent *individu* est effectuée.
- Les agents *individu* (*Aind*). Ils peuvent être soit sains, soit contaminés. Dans ce dernier cas ils consultent leur médecin.

Un agent *contaminateur* est introduit localement par un agent de simulation qui active les maladies (grippe, méningite, coqueluche, listériose,...). Il peut, en raison de sa proximité, infecter un agent *individu* sain. Ce dernier devient porteur de la maladie et peut la véhiculer dans son environnement évolutif (déplacements).

### 6.2. Le SMA de détection des épidémies

Ce SMA de détection et d'alerte, qui doit permettre une réaction rapide des autorités sanitaires, reprend l'organisation du système de santé public. Il comprend 4 niveaux d'agents cognitifs (acteurs), dont les rôles sont distincts :

- Les agents *médecins* (*Améd*), constitués en réseaux (notamment le réseau national de médecins sentinelles), représentent le premier niveau du système de santé en relation directe avec les malades. Ils ont pour rôle de recenser des symptômes, de diagnostiquer des maladies et de recueillir les informations à communiquer aux agents DDASS.
- Les agents DDASS (*Aloc* et *Ains*, Direction Départementale d'Action Sanitaire et Sociale) ont des fonctions de consultation, de conseil, de contrôle et de communication avec les médecins et les laboratoires. Leur mission est de fournir une aide au diagnostic pour les médecins, une remontée d'information aux instances supérieures et une mise en application des directives nationales pour la lutte ou la prévention de maladies.
- Les agents DRASS (*Arég*, Direction Régionale d'Action Sanitaire et Sociale) sont des agents centralisateurs (recueil d'informations régionales). Ils transmettent des informations à l'agent *InVS* ou des décisions sanitaires aux agents DDASS. Ce niveau a cependant un rôle limité dans l'organisation, car il est bien souvent court-circuité.
- Les agents nationaux dont l'agent *InVS* (*Anat*, Institut de Veille Sanitaire, l'organisme national de surveillance de l'état de santé de la population) collectent des informations pour assurer un rôle de contrôle/décision sur le territoire national ou établir des conclusions/rapports statistiques ou qualitatifs sur des phénomènes épidémiologiques.

Chaque agent est susceptible de prendre une décision localement et peut se faire assister par le système d'aide à la détection.

Nous réfléchissons en ce moment à l'extension de cette organisation aux autres acteurs du système sanitaire impliqués dans la chaîne de lutte contre les maladies (laboratoires et notamment le Centre National de Référence, Instituts Pasteur, services de surveillance de l'eau,...).

### 6.3. Modélisation des interactions du système

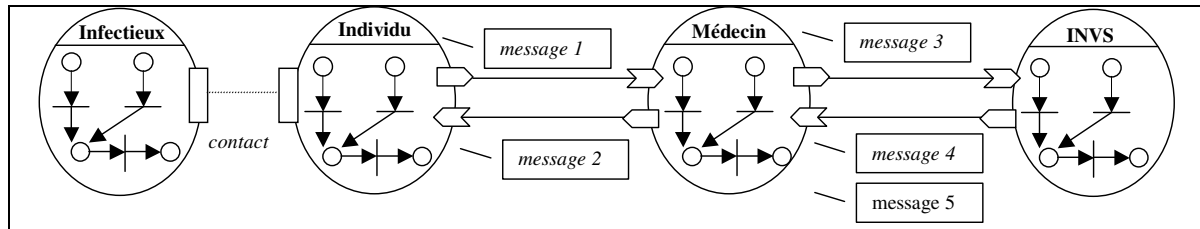


Figure 5. Schéma d'interaction du système de détection d'épidémie.

La figure 5 présente les interactions principales traitées par le système de simulation d'épidémie correspondant au scénario de contamination d'un agent individuel, à savoir le contact avec l'agent infectieux, le dialogue avec l'agent médecin traitant du malade, puis l'échange d'informations entre l'agent médecin et l'agent de l'INVS :

- message 1 :  $\langle \text{message\_consultation}, \text{Individu}(X), \text{Médecin}(Y), \text{exprime}(\text{symptomes}) \rangle$
- message 2 :  $\langle \text{message\_traitement}, \text{Médecin}(Y), \text{Individu}(X), \text{affirme}([\text{maladie}, \text{durée}, \text{traitement}]) \rangle$
- message 3 :  $\langle \text{message\_déclaration}, \text{Médecin}(Y), \text{INVS}(Z), \text{déclare}(\text{maladie}) \rangle$
- message 4 :  $\langle \text{message\_mesure\_de\_contrôle}, \text{INVS}(Z), \text{Médecin}(Y), \text{ordonne}(\text{mesures}) \rangle$
- message 5 :  $\langle \text{message\_mesure\_préventive}, \text{INVS}(Z), \text{Médecin}(Y), \text{informe}(\text{mesures}) \rangle$
- contact : perception incidente (réactive) et plutôt antagoniste, du contact avec l'agent Infectieux.

## 7. Conclusion

Nous venons de présenter un cadre générique de modélisation d'agents communicants définis dans le but d'apporter un haut niveau d'assistance à des utilisateurs de systèmes complexes. L'approche formelle corrélée consiste à définir une architecture modulaire pour définir les différents processus cognitifs des agents, à adopter une méthodologie rigoureuse d'acquisition de l'expertise dont est dotée chaque agent, à définir le modèle de connaissances des agents et à définir le modèle de communication/interactions entre les agents (nous utilisons par ailleurs les réseaux de Petri pour spécifier leurs comportements [FOU 03]).

Nous avons illustré notre approche sur la définition d'un système de simulation et de détection d'épidémies qui allie complexité (3 sous-systèmes de conception distincte à intégrer) et clarté de présentation.

L'élaboration d'une méthodologie de définition formelle des agents constituant de tels systèmes intelligents d'assistance, dédiés à l'utilisation de systèmes complexes, constitue nos perspectives de recherche. Par ailleurs, nous continuons à réfléchir pour raffiner nos modèles de description des comportements individuels et collectifs des agents afin de spécifier leur niveau d'autonomie. Notre modélisation du degré d'attention/intention est encore élémentaire ; nous réfléchissons sur les possibilités de l'affiner par pondération pour améliorer les performances de nos agents.

## References

- [AND 90] J.R. ANDERSON, "The architecture of cognition", Cambridge: Harvard University Press, 1983.
- [BEH 99] BEH, "Note de la direction générale de la santé sur la transmission de données individuelles à l'autorité sanitaire", *Bulletin épidémiologique hebdomadaire*, n° 47, 23 novembre 1999.
- [COH 90] P.R. COHEN, H.J. LEVESQUE, "Intention is Choice with Commitment", *Artificial Intelligence*, 42, p.213-261, 1990.
- [CRO 77] M. CROZIER, E. FRIEDBERG, "L'acteur et le système", Editions du Seuil, 1977.
- [DRO 96] A. DROGOUL, G. HUTZLER, "Le jardin des hasards : peinture abstraite et I.A.D. réactive", Rapport de recherche LAFORIA, 96/04, 1996.
- [ELF 99] A. EL FALLAH-SEGHRUCHNI, S. HADDAD, H. MAZOUZI, "Protocol Engineering for Multi-agent Interaction", Proceedings of MAAMAW'99, Valencia, Spain, June 1999.
- [ERM 00] J.-L. ERMINE, "Les systèmes de connaissances", 2<sup>e</sup> éditions, Hermès Science Publications, Paris, 2000.
- [FER 97] J. FERBER, "Les systèmes multi-agents : un aperçu général", *Technique et Science Informatiques*, 16(8), 979-1012, 1997.

- [FIN 94] T. FININ, R. FRITZSON, D. MCKAY, R. McENTIRE, "KQML as an agent communication language", Proceedings of CIKM'94, ACM Press, 1994.
- [FOD 83] J. FODOR, "The Modularity of the Mind", Cambridge, Mass, MIT Press, 1983.
- [FOU 99] A.-J. FOUGERES, P. TRIGANO, "Construction de spécifications formelles à partir des spécifications rédigées en langage naturel", *Document Numérique*, Ed. Hermès, vol. 3 - n°3-4, p. 215-239, 1999.
- [FOU 01] A.-J. FOUGERES, "Un système tutoriel intelligent adapté à la formation de régulateurs de trafic", *Sciences et techniques éducatives*, Vol. 8 – n° 1-2, pp 141-147, 2001.
- [FOU 02] A.-J. FOUGERES, "Model of cognitive agents to simulate complex information systems", IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, Hammamet (SMC'02), Tunisia, October 6-9, 2002.
- [FOU 03] A.-J. FOUGERES, "Architecture cognitive d'agents intégrés dans des systèmes d'information complexes", *Méthodes Formelles de l'Interaction (MFI'03)*, Lille, 20-22 mai 2003.
- [JEN 98] N.R. JENNINGS, M.J. WOOLDRIDGE, "Applications of intelligent agents", in Springer-Verlag (Ed.), *Agent Technology: Foundations, Applications and Markets*, 1998.
- [KAY 97] D. KAYSER, "La représentation des connaissances", Edition Hermès, Paris, 1997.
- [LEM 90] J.-L. LeMOIGNE, "La modélisation des systèmes complexes", Dunod, Paris, 1990.
- [MEL 91] J. MELESE, "L'analyse modulaire des systèmes", Paris, Les Editions d'Organisation, 235p, 1991.
- [MOL 86] A. MOLES, "Théorie structurale de la communication et société", Masson, Paris, 1986.
- [NOR 86] D.A. NORMAN, "Cognitive engineering", *User centred system design: new perspectives on human computer interaction*, D.A. Norman & S.W. Draper (Eds), Hillsdale, NJ: Erlbaum, 1986.
- [OCE 01] M. OCELLO, J.-L. KONING, C. BAEUS, "Conception de systèmes multi-agents : quelques éléments de réflexion méthodologiques", *Technique et Science Informatiques*, 20(2), 233-263, 2001.
- [OUZ 96] Y. OUZROUT, N. KABACHI, L. VINCENT, "Une société d'agents pour la prise de décision dans les organisations productives", *JFADSMA'96*, Editions Hermès, 1996.
- [QUI 99] J. QUINQUETON, Y. HAMADI, "Communication et Emergence : une épidémie chez les termites", *JFIADSMA'99*, Editions Hermès, 1999.
- [RAS 80] J. RASMUSSEN, "The human as a system component", in *Human Interaction with Computer*, H.T. Smith & T.R. Green (Eds), London Academic Press, 1980.
- [RAS 83] J. RASMUSSEN, "Skills, rules, and knowledge ; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, SMC-13, 257-266, 1983.
- [SCA 90] D. SCAPIN, C. PIRRET-GOLBREICH, "Towards a method for task description: Mad", in *Work in display units 89*, L. Berlinguer & D. Berthelette (Eds), Elsevier Science Publishers, North Holland, 1990.
- [SEA 72] J.R. SEARLE, "Les actes de langage", Publié en anglais en 1969 par Cambridge University Press sous le titre "SPEECH ACTS", Hermann, Paris 1972.
- [SHO 88] Y. SHOHAM, "Agent Oriented Programming", *Artificial Intelligence*, 60(1), p. 51-92, 1993.
- [VOG 88] C. VOGEL, "Genie Cognitif", Masson, Paris, 1988.