Modélisation de la couche communicationnelle d'un SIC civil coopératif

Alain Cardon
LirINSA Rouen, LIP6 Paris VI
Faculté des Sciences
76821 Mont Saint Aignan
France
+33 02 35 14 67 42
Alain.Cardon@insa-rouen.fr

Résumé
Nous présentons un modèle de Système d'Information et de Communication (SIC) appliqué à la gestion des des situations d'urgence et de crises civiles. Ce modèle permet la représentation des intentions et des jugements exprimés par les acteurs lors des échanges d'informations, en introduisant la notion d'acte de communication. Nous utilisons ce modèle pour la réalisation d'un prototype de SIC basé sur l'emploi de Systèmes Multi-Agents hybrides et dynamiques. Ces systèmes d'agents présentent des morphologies qui varient pendant le fonctionnement, selon les qualifications données aux informations échangées par les acteurs. Le prototype de SIC produit alors une description synthétique et interactive des caractères subjectifs exprimés par les acteurs, en s'appuyant sur la représentation de la morphologie des systèmes d'agents.

Mots clés
Systèmes d'Information et de Communication, Systèmes Multi-Agents, Systèmes adaptatifs, Morphologie d'un système d'agents.

Abstract
We present a model of Communication and Information Systems (CIS) applied to crisis and emergency situations management. This model allows the representation of the intentions and judgements expressed by operators when they exchange information about some situation, introducing the notion of communication act. The model is used for the development of a prototype of CIS founded on the use of hybrid and dynamic multiagent systems. This multiagent systems present variable morphologies when the CIS is running, according to the qualifications applied to the information by users. It produces synthetic and interactive descriptions of the different subjective characters provided by users, leaning on the representation of the morphology of multiagent systems.

Keywords
Intentionality, Communication and Information System, Multiagent System, Self-adaptive system, Morphology of multiagent system, Act of communication.

Introduction.

Actuellement, les sociétés occidentales s'intéressent à des Systèmes d'Information et de Communication (SIC) permettant de gérer des situations complexes, telles les catastrophes industrielles ou encore les actions militaires sur théâtres extérieurs [BOR 93]. Ces nouveaux systèmes utilisent les moyens de communication informatisés les plus sophistiqués, afin d'accéder à de nombreuses bases de données et permettre les échanges d'informations générant des décisions tactiques et stratégiques. Ils ont à coordonner l'engagement d'un grand nombre de professionnels ainsi qu'une grande quantité de moyens techniques : ce sont des systèmes caractérisés comme complexes sous l'aspect organisationnel.

Mais la définition d'un SIC, en tant que système constructible, pose trois questions [WALL 77] :
1. Quels types de relations existent entre le système et son environnement permettant de garantir son autonomie ?
2. Le système est-il composé de sous-systèmes bien définis et stables, dont l'agrégation homogène garantirait la cohésion de l'ensemble ?
3. Le système, qui s'auto-modifie de façon non régulière, conserve-t-il une certaine permanence ?

En effet, dans les SIC, les notions de groupe et d'environnement sont floues. Les informations échangées, qui permettent la prise de décision coopérative, ne sont ni complètes, ni bien définies ni même toujours bien comprises. Dans les SIC, les acteurs doivent pouvoir prendre des décisions de caractère peu rationnel, mais avec précision des contextes situationnels de leur génération. Les SIC doivent alors prendre en compte les intentions et les engagements de ces différents acteurs. Ils agrègent dans l'action des groupes non homogènes, incluant des spectateurs distants et non professionnels. La structure de ces sous-ensembles variables se modifie irrégulièrement dans l'espace et le temps. Enfin, il est difficile de construire leur structure plastique en se basant sur un ordre rigide et hiérarchisé, qui utiliserait une qualité parfaite des informations échangées.

Ainsi, nous pouvons considérer les SIC comme des systèmes bien constructibles, mais d'un point de vue systémique [LEM 90]. Ce sont des systèmes organisationnellement complexes, décomposables de manières multiples en sous parties. Leur fonctionnement prend en compte la complexité sociale du phénomène qu'ils expriment et interagit avec leur structure. Ce sont des systèmes fortement adaptatifs se distinguant donc des Systèmes d'Information classiques.

Les professionnels intervenant dans les situations d'urgence ou de crise ont explicitement formulé dans des projets de recherche européens [STE 94] leur besoin d'un nouveau type de Système d'Information. Leurs analyses montrent clairement que la connaissance effective des processus de décision et des représentations mentales qu'ont les acteurs à propos des situations est essentielle et que, si elle est omise du cadre du système, la situation sera mal gérée. En utilisant des modèles nouveaux et en s'appuyant sur les moyens de communication les plus récents et les plus puissants, on peut imaginer une nouvelle approche des SIC. Cette approche est basée sur la représentation du processus de décision lui-même et sur la représentation du changement de comportement des acteurs pendant une crise. Cette approche préserve l'encapsulation d'un Système d'Information classique par une couche adaptative. Un tel système est basé sur une modélisation par agents dynamiques. Un agent représente une certaine tendance subjective explicitée par un opérateur pour qualifier une communication. Les problèmes que nous résolvons sont celui de l'agrégation des agents, dont le comportement variable rend l'ensemble fort changeant et la représentation de cet ensemble d'agents dans les interfaces des opérateurs, exprimant ainsi une partie de leurs représentations mentales.

Nous présentons successivement les limites des Systèmes d'Information classiques dans le domaine de la gestion des crises, le nouveau modèle au niveau ontologique et ses caractères puis l'architecture et les caractères d'implémentation du prototype que nous avons développé, basé sur le paradigme agent.

1. L'approche classique basée sur les données objectives.

Dans le domaine des situations complexes, les Systèmes d'Information (SI) utilisent des réseaux informatiques sophistiqués. La bande passante permet la diffusion d'informations multimédia et d'une très grande quantité de données, permettant la planification de ressources humaines et matérielles multiples. Ces systèmes sont modélisés en considérant un certain nombre d'entités physiques classées en catégories (institutions, structures, moyens techniques...). Les liens fonctionnels entre ces catégories sont représentés selon des modèles de graphes. Ainsi les SI représentent de nombreux caractères du monde physique et ont pour fonction de délivrer des informations et des plans sur différentes situations.

Afin de représenter les objets physiques, les SI ont besoin de serveurs de base données importants afin de fournir la bonne information au bon endroit et au bon moment [BON 88]. Le schéma suivant (Cf. Fig. 1) montre les trois niveaux d'organisation d'un SI.

1. Le monde physique, les entités objectives
2. L'espace de développement des entités objectives
3. Le mouvement, les organisations et la planification

Fig. 1 : Les niveaux d'organisation des SI.

Ces trois niveaux représentent la description objective de situations concrètes. Ils décrivent respectivement, le domaine physique étudié, les relations entre les entités de ce domaine et les mouvements attendus de ces dernières dans l'espace et le temps. Ces informations peuvent permettre de gérer les situations dont il est possible de prévoir le déroulement.

Mais dans le cadre des situations d'urgence, nous avons besoin de pouvoir réaliser des prises de décision coopératives entre des acteurs décisionnels appartenant à des institutions différentes (la police, les pompiers, le SAMU, des élus...). Chacun des acteurs possède sa propre vision du phénomène, construite selon sa formation et son habitude, et qui peut être non cohérente avec une autre. Ces écarts de représentations mentales révèlent par exemple des contradictions entre acteurs ou encore un flagrant manque de structuration dans le point de vue énoncé. Ce défaut de cohérence peut générer des oppositions locales fortes entre acteurs et ainsi altérer le déroulement des plans d'ensemble. Ces confrontations peuvent alors interférer avec le développement du phénomène global, accélérant ainsi les dysfonctionnements. Ces interférences malvenues, qui peuvent en générer et en diffuser d'autres, arrivent à conduire à de vraies catastrophes : la crise dans la crise [STEP 94].

Dans les SI classiques, les représentations mentales et les processus de développement des analyses de situations ne sont pas exprimées, parcequ'il n'en existe pas de représentation dans les niveaux de l'organisation (Cf. Fig. 1). Les SI peuvent donc fournir des informations mais ne peuvent ni exprimer ni prévenir les dysfonctionnements dûs à des estimations non adaptées. Comme nous le montrons dans la figure 2, les informations échangées entre les différentes entités prennent en compte le *résultat* des analyses (appelé *Situation de référence*) mais jamais leurs processus d'élaboration (la génération de la *Situation Courante*) qui dévoilerait ainsi la pensée des acteurs.

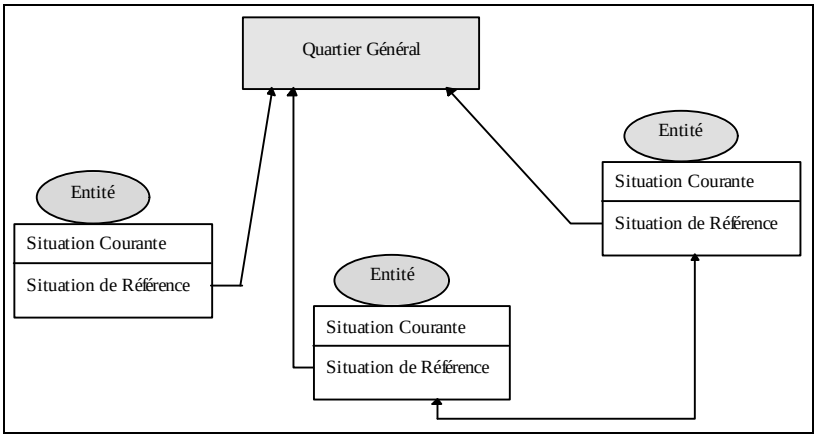

Fig. 2 : Communication des informations factuelles dans les SIC classiques.

Ces SI possèdent une structure d'échange d'informations permanente et ils ne se modifient pas réellement lorsque le sens de la situation change pour les utilisateurs. Ils éprouvent donc certaines difficultés à adapter les usages des informations qu'ils fournissent aux utilisateurs, en tenant compte de l'état d'esprit de ceux-ci. En effet, l'information jugée la plus importante sur une certaine situation n'est pas la même pour plusieurs acteurs différents. Le système devrait plutôt s'adapter à la démarche de raisonnement de l'acteur, à la perception que celui-ci a de la situation, afin de lui venir en aide tout en le laissant maître de ses décisions. Nous proposons donc une couche supplémentaire au-dessus du SI qui permet aux acteurs d'exprimer une part de leurs opinions et de leurs jugements personnels sur le phénomène. L'addition d'une telle couche introduit une approche que nous nommons *phénoménologique*.

2. Une approche centrée sur la perception du phénomène.

L'approche basée sur la perception du phénomène par les acteurs est différente de l'approche classique. En effet, cette dernière est proche de la résolution de problèmes: elle essaie de planifier, de prévoir, d'organiser la situation afin d'inhiber objectivement le surgissement de la crise. L'approche phénoménologique, quant à elle, prend en compte le comportement des acteurs et la façon dont la *situation de référence* (Cf. Fig. 2) a été générée explicitement par ceux-ci. Elle structure continuellement le domaine de connaissance en tenant compte de ce qu'ils perçoivent et savent percevoir. Après avoir obtenu la connaissance des caractères subjectifs des appréciations et des négociations, il sera possible de planifier des actions coopératives nouvelles et de prendre des décisions opportunes. De cette manière, le système doit s'adapter au phénomène courant et aux perceptions courantes de ses acteurs. Il doit tenir compte à la fois des caractères des représentations mentales que les acteurs expriment grâce à des actes de paroles [SEA 69] et de la génération des processus de décisions. C'est typiquement un système adaptatifs.

Pour construire un tel système, nous devons inclure dans les communications entre les acteurs des caractères subjectifs telles des opinions ou des jugements, encapsulant l'échange des communications par des connaissances subjectives. Nous intégrons donc la pragmatique du discours à toute énonciation objective. Nous qualifions de *Systèmes Complexes* [CAR 96] les systèmes qui possèdent ces qualités de réaction et d'adaptation. Ils sont principalement basés sur l'expression des points de vue humains à propos des situations courantes et plus uniquement sur un schéma prédéfini d'une situation prévue à l'avance.

2.1. Les Systèmes Complexes d'Information et de Communication.

Nous représentons dans la figure ci-dessous (Cf. Fig. 3) les six niveaux de modélisation des Systèmes d'Information de Communication Complexes (SICC), qui reprennent les niveaux d'organisation des systèmes qualifiés de complexes au sens organisationnel [LAP 92].

1. Le monde physique, les entités objectives
2. L'espace de développement des entités objectives
3. Le mouvement, les organisations et la planification
4. **Communication des Informations**
5. Valeurs, Symboles, sens du phénomène et intentions
6. Règles du jeu social, relations de pouvoir, émergence du sens global du phénomène

Fig. 3 :Les six niveaux d'organisation d'un SIC.

Les trois premiers niveaux appartiennent au domaine des SI classiques (Cf. Fig. 1), le quatrième permet l'organisation dynamique des trois précédents en prenant en compte la communication. Les niveaux 5 et 6 appartiennent au domaine social, psychologique et culturel. Ces deux niveaux ne peuvent pas être représentés par des structures définies a priori et qui utiliseraient des composants élémentaires fixés. En effet, l'importance et le type de catégories sociales et psychologiques que ces niveaux représentent dépendent de la situation elle-même et de son appréciation. C'est également pour cela qu'ils ne peuvent être a priori décomposés en sous-systèmes fixes. Ces niveaux appartiennent au domaine de la *complexité profonde* [CAR 96]. Nous nous intéressons à eux pour prendre en compte effectivement les intentions, les opinions et les jugements pendant le processus de communication, afin de construire l'élaboration de la prise de décision.

2.2. L'approche phénoménologique de la situation de crise.

L'approche phénoménologique consiste dans l'appréhension du phénomène global, c'est-à-dire la prise en compte des faits réels et également des représentations mentales qu'ont les acteurs à propos de cette situation réelle perçue. Cette approche englobe les informations factuelles, l'élaboration des processus de décision, les opinions et les jugements des différents acteurs sur les situations multiples et sur eux-mêmes [BAL 92]. L'intentionnalité dans l'acte d'échange d'informations est prise ne compte avec la transmission d'informations neutres dites objectives.

Dans les phénomènes complexes, la situation gérée est vague, changeante, caractérisée par de nombreux aspects contradictoires. Sa structure n'est pas bien définie. Les informations échangées sont multiples, contradictoires, partielles et partiales. Les systèmes qui ont à gérer de telles situations doivent modifier leur propre structure interne afin de *s'adapter* à la situation et à ce qu'on en connaît, réfléchissant ainsi dans leur organisation interne la complexité du sens du phénomène perçu par les acteurs. Nous avons donc un système structurellement variable qui doit être particulièrement adaptatif aux multiples impressions fournies par les opérateurs. Afin de prendre en compte les intentions et les jugements, éventuellement simultanés, de ceux-ci et de rendre le système adaptatif, nous allons poser certaines hypothèses et faire des choix sur son architecture.

L'architecture générale du SIC sera basée sur un système structurant distribué agrégeant une grande quantité de noeuds de communication. Ces derniers sont des entités représentant en fait le quartier général de chaque Institution. Ils sont chacun composés d'un module de communication qui possède deux grandes fonctions. La première permet d'accéder de façon classique à des Systèmes d'Informations Géographiques et à des bases de données, fournissant ainsi des données factuelles diverses. La seconde fonction permet la représentation d'opinions sur les différentes situations, l'élaboration des représentations mentales qu'ont les acteurs à propos de celles-ci et enfin *l'élaboration* des processus de décision.

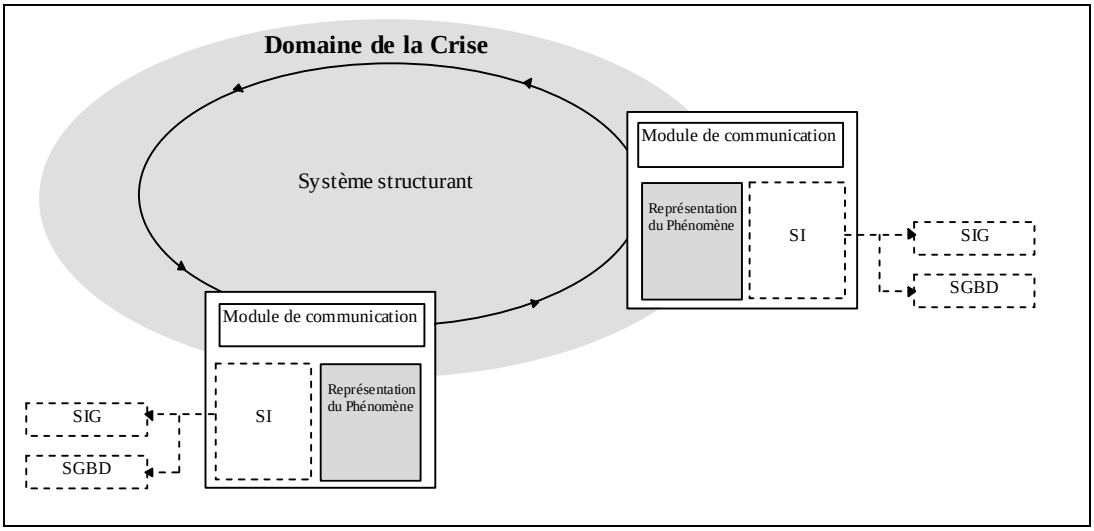

Fig. 4 : Organisation du SIC de gestion de crise.

3. Les hypothèses au niveau ontologique : auto-référence, acte de communication et émergence.

Nous avons vu en 2.2 que les niveaux 1, 2 et 3 décrivaient les caractères objectifs de la situation. Ces niveaux s'organisent grâce au niveau de communication (le niveau 4). Nous faisons l'hypothèse que les niveaux 5 et 6 peuvent être représentés à l'aide de certaines entités internes au système. Ces niveaux appartiennent à un domaine très spécifique, puisqu'ils expriment des aspects subjectifs, sociaux et culturels de l'organisation du système dans son évolution. Ils sont au-dessus des niveaux précédents et altèrent les structures de ces derniers. C'est la première hypothèse que nous posons, relative à l'auto-référence du système. Ces niveaux ne peuvent pas être représentés dans le système global par des catégories fonctionnelles prédéfinies. Chaque caractère constitué dans ces niveaux l'est surtout par un *acte de communication* [C&D 97]. Cela signifie que les opérateurs qui communiquent sont placés dans des situations où la connaissance du contexte d'énonciation est fondamentale. Chaque communication sera ainsi filtrée par des entités logicielles représentant des indications déictiques sur l'acte de langage [COS 87]. Cet

ensemble d'entités virtuelles *qualifie* la communication et modifie physiquement une part de la structure du système lui-même : ce sont donc des actions informatiques effectives qui enveloppent la communication.

Nous exprimons ainsi les catégories de sens dans les niveaux 5 et 6 par des actes de communication. La caractérisation du phénomène selon les différents acteurs est représentée par la variété des situations, des opinions, des jugements et des points de vue. La représentation de cette caractérisation dans le système se fait par une *modification structurelle* dans l'espace et le temps. L'hypothèse principale est que les modèles et les structures logicielles plastiques conviennent mieux à la représentation de phénomènes variables.

Le seul modèle qui permette une telle représentation plastique sera un modèle multi-agents hybrides dynamiques [KOR 96][CBD 96]. Nous représentons les différents caractères subjectifs des communications par de multiples agents, l'ensemble formant un *paysage* d'agents. Le comportement de ces derniers, leurs transformations internes et leurs communications réalisent les organisation spatiales et temporelles des niveaux 5 et 6. Les caractères globaux que l'on trouve dans l'organisation de Système Multi-Agents (SMA) sont des *caractères émergents* [FER 95]. Ainsi, ces agents, par leur comportement propre, peuvent perturber l'organisation du système et conduisent à sa réorganisation, afin de faire émerger de nouveaux caractères [MAT 80].

Dans un SMA, des structures attendues ou non peuvent émerger. Nous faisons l'hypothèse que les structures émergentes expriment le sens de la communication dans le système. Ces structures émergentes représentent une vue précise sur les différentes perceptions du phénomène élaborées pendant l'acte de communication. En raison du caractère dynamique du système, l'ensemble des structures émergentes change selon l'évolution du phénomène. Ainsi la structure de l'agent et son évolution reflètent l'organisation et la variation du phénomène lui-même.

4. Les spécifications ontologiques de l'acte de communication.

Les objets et les relations qui permettent de caractériser la qualification des communications entre les opérateurs sont constitués de différentes catégories dites ontologiques. Dans le système, on pourra considérer que la communication de l'opérateur concret est enveloppé d'un ensemble d'entités cognitives qui représenteront les modalités de sens qu'il porte sur la situation et son évolution, lorsqu'il échange de l'information. Il y a donc, dans toute communication, ce qui est explicitement transmis (texte, images, sons ...) et des qualifications contextuelles explicites. Une analyse du message permet en outre de dégager les catégories cognitives implicites qui y sont présentes.

Les catégories qui précisent le sens dont seront chargées les communications, s'apparentent aux catégories dites fondamentales des systèmes cognitifs dans lesquels on établit des invariants sémantiques [JAC 83]. Elles définissent les éléments cognitifs fondamentaux du système de représentation du sens de la situation et serviront de base à l'architecture logicielle.

4.1- La catégorisation de l'acte de communication.

On se place dans le cadre d'une situation évolutive, dont les caractères organisationnels sont à engendrer au fur et à mesure. Ces caractères seront précisés par des *actes de communication*. La catégorisation généraledu sens de la communication d'un opérateur est représentée selon trois catégories :

1. *l'objet* de la communication, c'est-à-dire ce sur quoi porte la communication pour l'opérateur émetteur, avec précision d'un signifiant dénotationnel,
2. la *qualification* de la communication, c'est-à-dire la qualité au sens de jugement de valeur, attachée à l'objet du message transmis pendant la communication,
3. *l'intensité* de la qualification, c'est-à-dire l'importance portée sur la qualification de la communication par l'acteur de l'acte de communication.

Ces mêmes catégories pourront être précisées directement dans le domaine d'évaluation de la situation de l'opérateur récepteur de la communication. Nous précisons maintenant ces trois catégories générales. L'acteur

émetteur d'une communication exprime, en communiquant, une certaine *intention*. Cette intention reste évidemment masquée au système symbolique, puisqu'elle occurre au niveau du sujet. Elle représnte les raisons de l'interprétation d'un objet perçu par l'opérateur et désigné par son signe, comme dans la sémiotique de Peirce (C.f. Fig. 5). Mais l'action qualifiante de la communication, explicitée par l'opérateur lui-même, permettra de représenter fidèlement son intention. Cette qualification à trois facettes, qui sont les trois catégories générales de l'acte de communication.

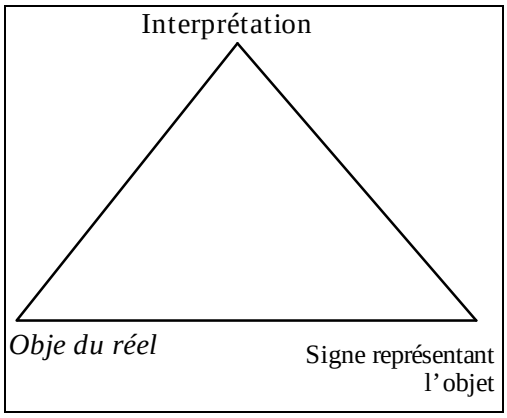

Fig. 5 : Le processus d'interprétation de l'acteur.

Chaque communication précise ainsi pour l'acteur, dans son interprétation d'un certain fait, un ou des objets, qualifiés par un ou des jugements, ces derniers étant appréciés par une ou des intensités respectives. Le triplet de base de la qualification d'une communication est donc:

- *objet, qualité, valeur*

Ces précisions cognitives, qui seront représentées sous forme d'entités symboliques, vont altérer l'environnement représentant l'opérateur.

Dans le système qui enveloppe l'opérateur, les entités cognitives sont catégorisées par rapport à la qualité, qui se décline selon ses qualifications :

- *catégorie de qualité, faits relatifs attachés ou objet, état, force, vélocité*

Les trois derniers caractères sont relatifs à la représentation effective de la qualification et de la valeur. L'état est l'indication du développement de la qualité spécifiée, la force est son action possible sur les autres catégories concurrentes et la vélocité indique la vitesse de changement d'état de la catégorie.

Il n'y a donc pas correspondance directe entre la qualification d'un message produite par l'action explicite de l'opérateur et l'état du système cognitif qui l'entoure. L'opérateur précise l'objet et son intention, alors que le système retient la variation de la qualification et ses modalités. Par cela, l'état courant du système cognitif va *émerger* au-dessus des différentes qualifications enveloppant les communications, au niveau du sens de la situation perçue plutôt qu'au niveau des faits bruts observés, dans la mesure où ils auraient un sens.

4.2- Déclinaison des catégories fondamentales.

L'objet de la communication constitue la première catégorie précisant, pour l'opérateur, ce sur quoi porte la communication, sa raison objective. Cette catégorie précise la raison de l'acte et est explicitement dénotée par les locuteurs, à partir de listes d'icones ou de symboles prédéfinis. Elle se représente donc par des sous-catégories définies a priori, et qui sont disponibles dans les interfaces des opérateurs.

Il y a cinq sous-catégories d'objets. La plus générale réfère à la situation à gérer, à ce dont il va être question. La seconde précise le type de liaison entre l'acteur et la situation : c'est une action, car l'acteur agit sur et par la

situation qu'il perçoit. La troisième sous-catégorie est l'engagement de l'acteur dansle déroulement de la situation : elle précise donc son projet, ce qu'il veut selon son intention.

Les deux dernières catégories sont d'une part celle relative aux liens catégoriels permettant la structuration transitive des catégories précédentes et d'autre part la temporalité qui fixe le sens de ce qui est, qui fait "avoir conscience de". La catégorisation temporelle peut être implicite.

Chaque sous-catégorie d'objet est liée à des sous-catégories de qualifications, qui en précisent ainsi les caractères. La valeur attribuée à cette qualification est toujours représentée sur une échelle numérique subjective.

4.2.1. Catégorie d'objet relative à l'aspect de la situation.

Cette catégorie précise la situation courante observée et étudiée par les opérateurs, en distinguant ce qui est relatif à son aspect général de ce qui concerne son aspect spécifique.

Par exemple, les caractères généraux d'aspect de la situation sont :

- situation dégénère, situation empire, situation se précise, situation échappe à tout contrôle, partiellement contrôlée, situation contrôlée,...

Par exemple, les caractères relatifs à des aspects spécifiques de la situation sont :

- la phase P1 du plan est terminée, le lieu L1 est atteint, la section S1 est en route,...

Les qualités portées sur ces deux types de la catégorie d'aspect sont soit des jugements de force, soit des jugements de valeur:

- jugement de force : important, fondamental, contingent, neutre,...
- jugement de valeur : crédible, impossible, inutile, indispensable, incompréhensible, absurde, saugrenu, valable, pertinent, astucieux,...

L'intensité est représentée sur une échelle subjective valuée, précisant l'importance du caractère de jugement.

4.2.2. Catégorie d'objet relative à l'action.

Cette catégorie précise un acte effectif et s'oppose ainsi à toute entité statique simplement observable. Par exemple, l'opérateur peut préciser que l'objet du message porte sur :

- action initiale, action de prospective, action de vérification, action terminale, action planifiée, action hors plan, attente, non action, ordre ...

Cette catégorie peut se décliner par rapport à la précédente, en la précisant par une action portant sur un aspect général ou spécifique de la situation.

Les qualités portées sur cette catégorie d'objet sont des jugements de valeur comme :

- important, inadaptée, impossible, inutile, indispensable,...

4.2.3. Catégories relatives au projet.

Cette catégorie précise le point de vue de l'opérateur sur une certaine entité. Celui-ci décrit sa position personnelle par rapport à un fait. Ce fait peut ainsi être perçu comme :

- hypothèse de travail, certitude de conduite, savoir empirique, croyance, rumeur, chose fondée, chose dont il faut tenir compte, but, enjeu, souci

Cette catégorie se décline selon les deux précédentes, c'est-à-dire qu'un projet peut être relatif à un aspect de la situation ou à un aspect d'action. Les qualités portées sur cette catégorie sont par exemple des jugements de valeur, des doutes, défiances, refus, ..

4.2.4. Catégories relatives à la temporalité ou à l'espace.

Tout objet peut être considéré comme spatial et temporel, selon l'appréciation de l'opérateur. Celui-ci peut préciser un aspect temporel sur un certain objet qui caractérise déjà une situation, une action ou un projet. Cette catégorie est ainsi assujettie aux précédentes. Elle marque le caractère spatial et temporel affectée à celles-ci.
Ce sont, par exemple, les notions de :

- lieu, zone, date, durée, instant, dans le présent, dans le futur, dans le passé ...

Les qualifications sont celles des trois premières catégories ainsi que des caractères typiquement temporels et spatiaux :

- valuation, précision, imprécision, prédiction,..

La **modalité**, qui est une catégorie première dans certains systèmes, est considérée ici comme une valeur, relative aux croyances. C'est donc une qualification d'objet comme par exemple :

- chose possible, chose nécessaire, chose probable, chose certaine, chose vaine

Chaque communication est ainsi qualifiée pour l'acteur émetteur, puis par la suite et dans son propre environnement, pourr l'acteur récepteur. La forme de cette qualification est, dans le système, une certaine structure de type réseau sémantique. Ce choix est justifié par le caractère technique du domaine étudié (situation d'urgence entre professionnels). Mais la représentation interne des différentes qualifications sera plastique, avec une morphologie particulièrement changeante, comme l'est un état d'esprit.

5. Un Système communicationnel modélisé par des systèmes multi-agents dynamiques.

Le système structurant devant délivrer les communications et exprimer les actes de communication entre opérateurs est représenté par plusieurs SMA. Les différents agents qui constituent l'enveloppe organisationnelle du système de communication de chaque opérateur forment ce que l'on nomme un *paysage d'agents*. Un paysage d'agents doit pouvoir se modifier morphologiquement pour s'autoadapter aux qualifications portées par les opérateurs lors de chaque communication, selon les catégories ontologiques fondamentales. Ce caractère de modification autonome est fondamental, car il permet d'exprimer l'évolution du sens porté par chaque opérateur sur certains faits selon un aspect qui est organisationnel et non seulement dénotationnel.

Lors d'une communication, un patron (pattern) est créé par les qualification fournies par l'opérateur, selon les différentes catégories. Cette structure, déjà complexe par son organisation en réseau sémantique, va ou bien directement générer un agent typique dans l'enveloppe du système de communication de l'opérateur, ou bien altérer certains agents déjà existants, ou avoir simultanément œs deux effets. Il ne s'agit donc pas d'un "patron cognitif" qui va être généré dans le système communicationnel de l'opérateur et correspondant strictement au patron présenté par la qualification de la communication, mais d'une autoadaptataion du paysage d'agents à la structure qualifiante définie par l'opérateur. Le système communicationnel de chaque opérateur, devant représenter l'évolution de ses propres représentations mentales, est fortement autonome.

L'architecture d'un SIC se compose de trois parties.

1. La première partie représente le réseau communicationnel entre les acteurs (les quartiers généraux des institutions). Par acteur nous entendons différents types d'entités telles que des individus, des groupes d'individus ou des institutions de professionnels (la police, les pompiers, le SAMU...). Chaque entité est un noeud du réseau de communication [CBD 96] et est considérée comme un acteur physique. Les acteurs dialoguent entre eux grâce à une interface personnalisée en usant de protocoles spécifiques. Cette partie correspond au niveau des SI classiques (Niveau 1, 2 et 3 de la Fig. 3).

2. La deuxième partie décrit les intentions que les acteurs expriment explicitement lors de la communication. Nous essayons ici de décrire les intentions et les opinions des acteurs à propos des décisions sur le phénomène et des situations personnelles et coopératives. Cette partie est la représentation des niveaux 4 et 5 de l'organisation d'un SIC (Cf. Fig. 3).

3. La troisième partie représente graphiquement sur l'interface des opérateurs la forme complexe des jugements exprimés par les acteurs, en utilisant différents moyens d'expression. Cette partie correspond au niveau 6 de l'organisation des SIC.

Ces trois parties sont placées dans une boucle (Cf. Fig. 6) et sont modélisées par des SMA spécifiques.

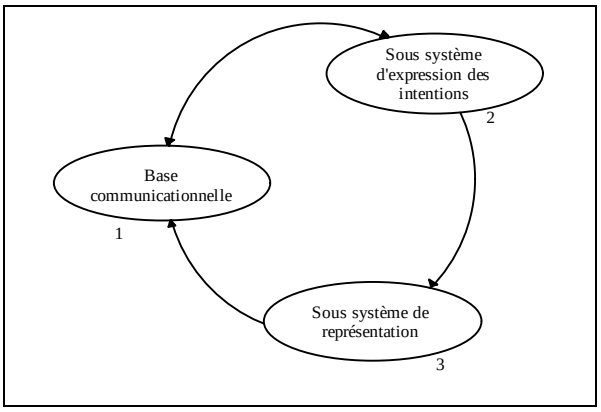

Fig. 6 : Les trois sous-systèmes d'un SIC.

5.1. La composante de communication dans les SIC.

A ce niveau, nous modélisons les acteurs physiques, les média de communication et les interfaces usuelles [KIE 85]. Chaque acteur physique est décrit par un agent appelé *agent concret*[CAR 95]. Ce dernier est structuré par la prise en compte de ses fonctions, comme le comportement attendu dans la mission. L'interface à ce niveau doit permettre une lecture claire et synthétique des faits objectifs sur la situation. Elle doit permettre également des requêtes sur les serveurs d'information et l'échange d'information multimédia entre acteurs [BRO 92]. Le réseau de communication des acteurs est modélisé par un SMA composé d'agents cognitifs classiques.

5.2. La composante d'expression des intentions des acteurs.

Ce sous-système permet l'expression des jugements exprimés explicitement par les agents concrets sur la situation courante lors des communications. Il représente les catégories ontologiques du domaine. Grâce à son interface, chaque agent concret peut donner ses opinions et ses jugements sur les caractères de la situation ou à propos des autres acteurs avec lesquels il communique. Ces jugement expriment en fait la vision de la situation des agents concrets. Chaque point de vue et chaque jugement est pris en compte dans l'ensemble des actes de communication, semblables à des actes de paroles [SEA 69] par ce que nous appelons des *agents aspectuels*. Ces agents aspectuels représentent les différentes catégories et sous-catégories du niveau ontologique.

En effet, ces agents aspectuels vont se lier à un agent concret, se développer et essayer d'altérer son voisinage (Cf. Fig. 7), avec un caractère marqué d'autonomie, telle une clôture opérationnelle de système autopoïétique [VAR 96]. Ces agents aspectuels décrivent des catégories de sens à propos des impressions subjectives des agents concrets (par exemple, doute, défiance, incompréhension portant sur un certain objet...) lors de chaque communication.

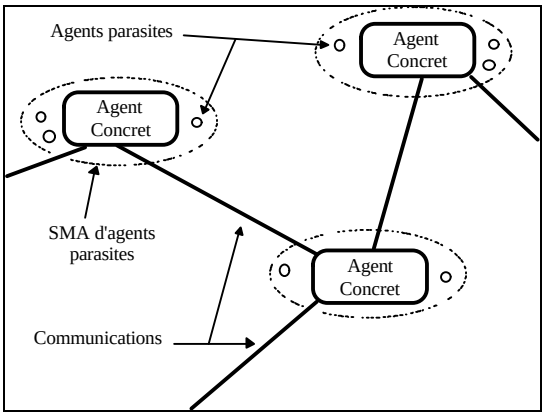

Fig. 7 : L'enveloppement du système de communication par les agents aspectuels.

6. Le comportement des agents aspectuels.

Les agents aspectuels ont un comportement rationnel. Leur flexibilité, leur nombre variable et leurs capacités d'actions forment un ensemble en adéquation avec le processus de structuration du domaine de la gestion de crise. Ils possèdent des buts : survivre et se développer, en accord avec les caractéristiques de la communication. Ces caractéristiques expriment par exemple la justification et les raisons des décisions ou bien l'opinion sur de nombreux faits dans l'évolution des situations. Nous avons donc un monde *dynamique* d'agents. Ceux-ci possèdent leurs propres stratégies de conquête et d'affrontement avec les autres agents aspectuels. Ils récupèrent les jugements émis par les agents concrets afin d'imposer leur vision du monde aux autres agents aspectuels. Ces tentatives de conquêtes se font en faisant progresser l'état interne de l'agent aspectuel ou en augmentant le nombre de ses représentants.

Si un aspectuel avance dans son évolution, cela signifie qu'il acquiert de l'importance de façon locale. Cela est dû à l'agent concret sous-jacent qui a conforté l'action de cet agent aspectuel par un message (par exemple, un agent concret a exprimé un doute *fort*). Si un agent aspectuel fait augmenter par clonage le nombre de ces représentants, cela signifie que le caractère subjectif qu'il représente est répandu (l'agent concret doute sur *beaucoup* de choses). Ces deux méthodes de développement ne sont pas indépendantes. Il est raisonnable de penser que si, par exemple, le doute est répandu, il finira par devenir important localement. De même, si un doute est important localement, il aura tendance à se répandre parmi les enveloppes des agents concrets.

6.1. Le SMA des agents aspectuels.

Chaque agent aspectuel est modélisé par un agent hybride [BUS 94]. L'ensemble complet des aspectuels autour d'un agent concret est donc un SMA dynamique, dont les caractères aspectuels sont changeants. Pour stabiliser un tel système, nous générons automatiquement, à la création d'un aspectuel, son dual au sens de la catégorie qu'il représente (par exemple : confiance et défiance). Le développement de l'un signifie l'affaiblissement ou la mort pour l'autre à plus ou moins long terme. Les deux agents antagonistes ont les mêmes buts généraux (survivre et se développer) et les mêmes moyens, ainsi ils se combattent constamment.

Le développement local d'un aspectuel affecte le développement des aspectuels du même hôte (l'agent concret) et le développement des aspectuels des hôtes voisins (les agents concrets en communication avec l'hôte). Le SMA des agents aspectuels modifie sa forme en fonction des communications effectuées par les agents concrets. Il possède donc une morphologie changeante. Nous faisons l'hypothèse que cette morphologie peut exprimer le point de vue de l'hôte sur la situation courante. Nous associons à l'acte de langage [AUS 70] d'un agent concret une action de reconfiguration de la morphologie du paysage d'agents [CBD 96]. Notre but est alors de représenter explicitement cette fluctuation morphologique sous forme graphique.

Cette reconfiguration du paysage d'agents affecte directement l'interface de l'agent concret par l'inclusion d'un diagramme spécifique et par des altérations effectives de l'interface. Ainsi le système modifie ses interfaces en fonction des opinions données par les agents concret sur différents situations. Chacun de ces agents concrets, en voyant dans son interface une représentation des intentions et des jugements des autres, justifie ses actes et modifie ainsi la structure de son système d'agents. Le système opère dans une boucle qui inclut les acteurs.

6.2. La structure des agents aspectuels.

Afin de permettre la plasticité des agents aspectuels qui doit refléter la finesse des représentations mentales, nous utilisons une double structure d'automate pour la modélisation des aspectuels. L'agent est modélisé par un automate à quatre états appelé macro-automate. Le premier état représente l'initialisation de l'agent. Dans le second état, l'agent tente de recueillir des informations sur son contexte afin de savoir si son développement est viable. Si c'est le cas, il passe dans le troisième état. Là, il tente d'imposer son point de vue, en communiquant pour altérer ses compétiteurs. S'il y parvient, il gagne alors le quatrième état qui est l'état d'action. En ce point, l'agent évoque une tendance significative et permanente. Chaque état du macro-automate est également modélisé par un automate qui sera appelé automate local dans les lignes suivantes. Cette structure complexe permet de représenter finement les opinions subjectives générées lors des communications.

6.2.1. Le Macro-Automate.

Comme il est précisé dans le paragraphe précédent, le macro-automate possède quatre états (Cf. Fig. 8) : l'initialisation, la délibération, la décision et l'action. Ils correspondent au schéma de la décision linéaire [SFE 92].

1. Dans le premier état, l'agent se réveille. Il essaie de déterminer si la quantité et la force des messages qu'a envoyé l'hôte est suffisante pour que le processus soit initialisé.

2. Dans le second état, l'agent tente de déterminer si son contexte lui est favorable ou pas. Pour cela, il va demander aux autres agents aspectuels des informations sur leur état. Selon celles-ci, l'agent passera dans l'état trois ou reviendra en arrière à l'état d'initialisation.

3. Dans le troisième état, l'agent va tenter d'imposer son point de vue aux autres agents aspectuels et va essayer d'infecter les SMA des autres agents concrets. Il agit sur le graphe des autres agents aspectuels et envoi des clones dans les SMA des hôtes voisins. Ces clones seront considérés comme des agents aspectuels nouveaux dans le SMA voisin. L'agent aspectuel peut tuer certains agents faibles ou au contraire en renforcer certains autres afin d'atteindre son but : se trouver dans l'état d'action.

4. Lorsqu'un agent réussit à gagner, il passe dans l'état quatre. Dans cet état, il agit sur le macro-automate des autres agents, en tentant de les altérer. Lorsqu'un agent aspectuel est dans cet état, on peut dire que la catégorie qu'il représente caractérise un point de vue significatif, permanent et pertinent de l'hôte.

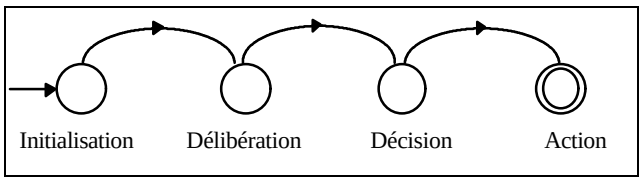

Fig. 8 : Le macro-automate.

6.2.3. L'état d'initialisation.

C'est le premier état du macro-graphe. Un agent concret lance une communication et la qualifie selon certaines catégories de sens. Cette caractérisation déclenche l'envoi de messages internes dans le SMA de l'agent concret, à usage des agents aspectuels. Un certain agent aspectuel est réveillé par un message dans lequel la catégorie qu'il représente, ou une catégorie proche, est favorablement filtrée. L'agent va déterminer si la fréquence et l'intensité des messages est alors suffisante pour rendre la catégorie qu'il représente potentiellement pertinente.

Cet état est implémenté par un automate augmenté (Augmented Transition Network, ATN) [GUE 96]. Lorsqu'un agent aspectuel reçoit un message, il calcule la proximité entre la catégorie liée au message et sa propre catégorie. Selon cette proximité et la valeur d'intensité du message, une première transition est franchie ou non. La proximité sémantique est donnée par un lexique. Une certaine entité adaptée est représentée dans l'automate pour enregistrer le contexte de développement de l'état (si le passage à l'état suivant a été difficile, rapide, laborieux...).

6.2.4. L'état de délibération.

Cet état est atteint lorsque la catégorie représentée par l'agent aspectuel a un caractère de pertinence dans le contexte du SMA. L'action dans cet état est de déterminer si l'agent a une chance ou non de survivre. Pour cela, il va demander des informations sur son contexte via les autres agents aspectuels. Il leur demande des informations sur leur état d'avancement et les qualités de cet avancement. Selon celles-ci et en tenant compte des messages reçus, l'agent peut déterminer si le contexte lui est favorable ou pas. Si le contexte est favorable, alors l'agent passe dans l'état suivant. Sinon, il a trois possibilités : la régression à un macro-état précédent, la mort ou l'attente d'un contexte meilleur.

Afin d'évaluer le contexte, l'agent demande aux autres agents leur état précis. Il connaît ainsi l'état de son ennemi personnel (son dual), de son meilleur ami (le plus proche), de ses alliés (ses proches) et de ses ennemis (les proches de son dual). Il peut se représenter son contexte en le structurant, en comptant le nombre de ses alliés et de ses ennemis, en les groupant, en se représentant leur force. Il peut donc décider d'avancer, de reculer ou d'attendre.

Cet état est modélisé par un ATN (Cf. Fig. 9). Nous avons donné un comportement relativement autonome à l'agent, car nous ne souhaitons pas qu'il ait une dépendance forte aux messages. Si le contexte est favorable et si l'agent attend un message pour atteindre l'état suivant, alors il peut choisir d'être plus autonome et de franchir d'autorité la transition, sans attendre ce message.

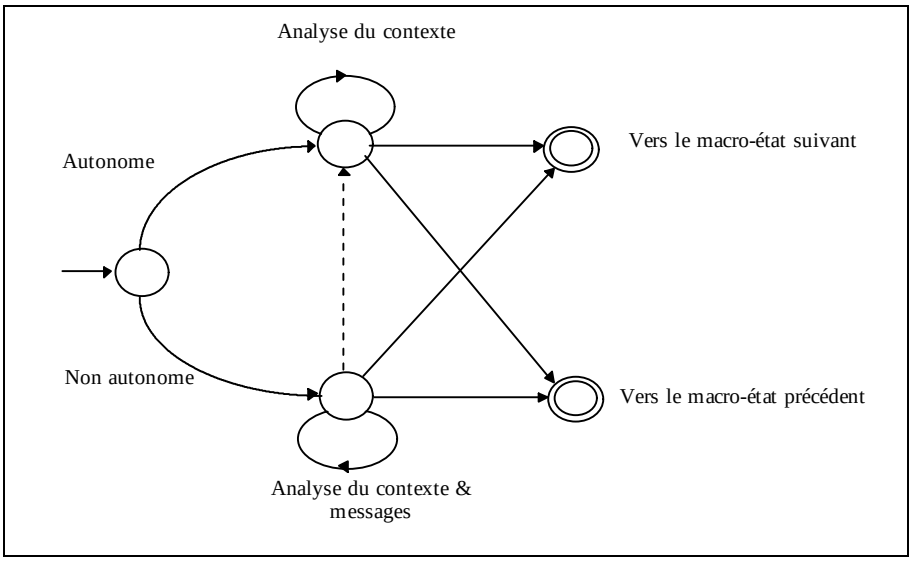

Fig. 9 : L'ATN de délibération.

Pour l'analyse du contexte, nous avons défini une mémoire situationnelle dans l'agent aspectuel. Cette mémoire permet de représenter l'état du contexte. Si le contexte est bon, respectivement mauvais, la transition vers le macro-état suivant est passée, sinon l'action de changement d'état fait revenir vers le macro-état précédent. Si le contexte est intermédiaire, l'agent continue ses requêtes. Lorsque le contexte est proche d'un seuil de franchissement (par exemple, il n'est pas jugé bon, mais il n'en est pas loin) une fonction stochastique ou heuristique peut faire franchir la transition entre le comportement non autonome et autonome.

6.2.5. L'état de décision.

Dans cet état, la catégorie représentée par l'agent est considérée comme pertinente au niveau du SMA enveloppant l'agent concret. L'agent aspectuel va donc tenter d'imposer son point de vue. La structure de cet état est très proche de celle de l'état précédent. Les principales différences se situent dans les actions de l'ATN. En effet, en plus de requêtes sur l'état du contexte, l'ATN va *agir* sur les autres aspectuels afin de ralentir ou d'accélérer leur développement. Ces actions peuvent être de deux types :

- il peut y avoir action sur la perception du contexte d'un autre aspectuel afin de fausser sa représentation du monde
- il peut y avoir action directe sur l'ATN d'un aspectuel en favorisant ou en rendant plus difficile le franchissement de certaines transitions.

Lorsqu'il n'y a plus d'agents susceptibles de lui barrer radicalement la route, l'agent passe la dernière transition du macro-automate vers le macro-état d'action.

6.2.6. L'état d'action.

A ce stade, la catégorie représentée par l'agent est celle qui structure de manière pertinente le phénomène au niveau local. L'agent altère profondément le comportement des autres agents en agissant sur leurs macro-automates. Voici certaines variations possibles du macro-automate des aspectuels : la bestialité, l'intellectualisme et la velléité [SFE 92] comme dans la figure 10 ci-dessous.

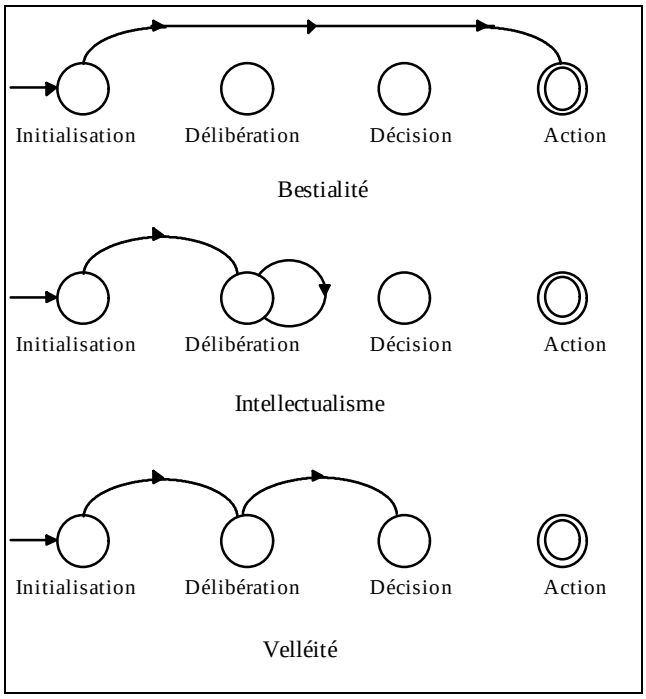

Fig. 10 : Différentes variations du macro-automate.

7. L'émergence du sens du phénomène perçu.

Les agents aspectuels que nous avons définis permettent l'expression du sens local de chaque communication par son interprétation comme acte de communication. L'ensemble des SMA liés à chacun des agents concrets permet l'expression du sens du phénomène pour cet agent concret. Ce sens est généré par l'émergence d'une structure dans la morphologie des SMA. Pour cela, nous avons défini une algèbre d'agent, c'est-à-dire un ensemble d'opérations sur les agents permettant l'émergence des nouveaux agents généraux qui caractérisent la morphologie du SMA : présence de ruptures entre certains groupes d'agents, présence d'ensembles denses d'agents, présence de groupes

disjoints d'agents, variations plus ou moins rapides de ces agrégations. Ceci est un point important de nos travaux, où nous étudions la cohérence et la stabilité des SMA exprimant le sens d'une situation par l'étude de la morphologie changeante d'un paysage d'agents conatifs.

Le but est d'obtenir une connexion structurelle et immédiate entre l'ensemble des idées des agents concrets et le paysage des agents aspectuels. Cette notion est centrale dans notre modélisation et comprise comme une nouvelle forme de sens, exprimant la synthèse de formes particulières (les agents aspectuels) encapsulant les différents agents concrets.

Les caractères morphologiques des SMA, les caractères des agents aspectuels et leurs évolutions identifient la situation dans l'ensemble du système par trois états : un état d'initialisation d'un sens global, un état de délibération vers un sens global et un état vers ce sens. Ainsi, la structure des agents émergents sur la morphologie est du même type que celle des agents aspectuels.

7.1 Le sous-système de représentation de la perception du phénomène.

La modification de l'interface des agents concrets par les agents aspectuels exprime une perception locale du phénomène, selon les avis portés par l'agent concret. Le sous système de représentation du phénomène analyse le paysage d'agents afin d'exhiber une représentation de sa morphologie. Le paysage décrit ainsi l'ensemble des opinions, jugements et intentions des agents concrets à propos de la perception de certains caractères du phénomène. Nous faisons l'hypothèse que la représentation géométrique de cette morphologie peut exprimer le sens du phénomène.

Le sous-système de représentation est, par souci de cohérence, modélisé par un SMA, mais avec des agents réactifs [FER 95]. Chaque agent réactif tente d'agréger les représentations des agents concrets qui ont communiqué par des *composantes sémantiquement connexes*. Ces composantes sont des agrégats d'agents concrets enveloppés de leurs agents aspectuels, selon une proximité sémantique donnée par les caractères morphologiques des SMA.

Nous obtenons ainsi une nouvelle lecture *topologique* du sens échangé sur le réseau de communication. Ces composantes rassemblent les agents concrets qui possèdent des caractères communs, qui présentent des catégories de sens et de jugement proches. Elles expriment la notion de sens commun sur l'appréciation du phénomène. Afin d'effectuer ces agrégations, les agents réactifs surveillent les jugements des agents concrets et agrègent ceux qui échangent souvent des avis significatifs semblables. Nous lions ces ensembles à des valeurs sémantiques dépendant des la nature des jugements. Ces valeurs peuvent être par exemple : affrontement, cohérence, rupture, continuité.

Dans notre prototype, cette nouvelle lecture topologique liée à des valeurs sémantiques est représentée sous la forme d'une surface 3D interactive.

7.2 Le prototype de simulation.

Nous avons développé, en langage Smalltalk, un prototype pour simuler le sens attribué à diverses situations lors de communications entre acteurs. Dans ce prototype, chaque acteur a une fenêtre avec une boite de communication (Cf. Fig 11). Il peut envoyer ou recevoir différents messages. Lorsqu'il communique, il peut exprimer différentes opinions sur le message envoyé ou reçu, sur la situation ou sur d'autres acteurs. Ces opinions enveloppent le message et sont représentées par la création de différents agents aspectuels dans le SMA lié à l'acteur local. La même opération de génération d'agents aspectuels est effectuée sur le SMA du destinataire du message, mais avec les conditions locales à celui-ci. Dans le SMA qui reçoit ces opinions sous forme d'acte de communication, les agents aspectuels interprètent les opinions et agissent en conséquence.

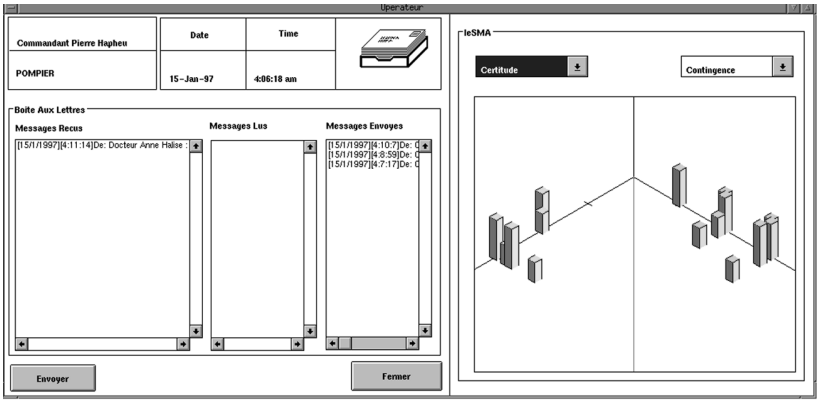

Figure 11. La représentation des agents dans l'IHM du système.

8. Conclusion.

Un SIC est défini comme un système plastique, enveloppant un système de communication usuel, interagissant fortement avec son environnement. Il gère des phénomènes que nous qualifions de complexes, dans lesquels les actions entreprises par les acteurs s'écartent des pratiques usuelles. L'exhibition des représentations mentales de ceux-ci est la clé d'une gestion raisonnable du phénomène. Comme les représentations mentales de ces acteurs ne sont que partiellement appréhendables, variables et non totalement prévisibles, nous devons rendre la structure du système adaptée à ces caractères. C'est pour cela que nous avons utilisé des systèmes multi-agents hybrides dynamiques. Ainsi, nous représentons les caractères d'une *mémoire organisationnelle* quant au processus de réflexion des acteurs, partant d'appréciations vagues et subjectives de la situation pour arriver, au fur et à mesure des échanges, à des domaines bien structurés et bien gérés, et cela sans réduction.

Le simulateur que nous avons développé en Smalltalk, liant agents et objets, nous permet de valider notre modèle sur certaines catégories de sens, sur la pertinence des représentations visuelles des qualifications des informations et sur la stabilité des SMA pendant les actes de communication.

Ce simulateur de SIC est actuellement étendu en vue d'un usage effectif sur le site industriel du Havre (Seine-Maritime, France). Dans ce prototype les acteurs échangeront des opinions subjectives à propos d'un phénomène complexe et changeant afin d'entreprendre des actions coopératives. Par cela, certaines propagations incontrôlées de rumeurs, certains affrontements de pouvoir, des incompréhensions ou des conflits personnels pourront être évités, ainsi que les crises dans la crise qui constituent le dérèglement typique des situations d'urgence. Ce modèle peut être étendu à toutes les organisations sociales qui possèdent un réseau de communication informatique et où l'on souhaite exprimer les intentions des acteurs humains afin d'améliorer la gestion de l'ensemble.

Bibliographie.

[AUS 70] Austin J.L., *Quand dire c'est faire*, le Seuil,1970. *How to do things with words*, 1962.
[BAL 92] Balkanski C., *Action, belief and Intentions in rationale clauses and means clauses*, Proceeding of the 10th NCAI, p. 296-301, San-Jose, CA, 1992.
[BAR 96] Bares M., *Systèmes de commandement, Eléments pour une prospective*, Polytechnica, 1996.
[BON 88] Bond A. H., Gasser L., *Readings in Distributed Artificial Intelligence*, Morgan Kaufman, 1988.
[BOR 93] Borodzicz E., Aragones J., Pidgeon N., *Risk communication in crisis: meaning and culture in emeregency response organisations*, European conference on Technology & Experience in Safety Analysis and Risk management, Rome, 1993.
[BRO 92] Brodie M., Ceri S., *On Intelligent and Co-operative Information Systems: a workshop summary*, Int. Journal of Intelligent and Co-operative Information Systems, Vol. 1, No 2., p. 249-289,1992.

[BUS 94] Bussmann S., Demazeau Y., *An agent model combining reactive and cognitive capabilities*, Proc of IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS'94, München, 1994.

[CAR 95] Cardon A., Rousseaux F., *A model for Communication and Information Systems (C3I) to assist crisis management, considered from the viewpoint of co-operation: an attempt to go beyond the Cartesian schema*, International Workshop on the Design of Co-operative Systems, Antibes, 1995.

[CAR 96] Cardon A., *Le caractère fondamental des systèmes finalisés : la complexité profonde*, Troisième Congrès Européen de Systémique, p. 951-956, Rome, 1-4 Octobre 1996.

[CBD 96] Cardon A., Blot E., Durand S., *Self-reactive servers on Internet*, WWW5 AI Workshop, Paris 6-10 May 1996, http://www.info.unicaen.fr/-serge/3wia/workshop/papers/paper9.html.

[**C&D 97**] Cardon A., Durand S., *A Model of Crisis Management System Including Mental Representations*, AAAI Spring Symposium, Stanford University, CA, USA, 23-26 mars 1997.

[**CAR 97**] A. Cardon, *Les Systèmes d'Information et de Communication de gestion de crise : une modélisation par agents*, Ingénierie des Systèmes d'Information, Hermès, (à paraître en 1997).

[FER 95] Ferber J., *Reactive Distributed Artificial Intelligence: Principles and Applications*, in Foundation of Distributed Artificial Intelligence, N. Jennings Ed., Wiley, 1995.

[GUE 96] Guessoum Z., Dojat M., *A Real Time Agent Model in a Asynchronous-Object Environment.* Lectures notes in Artificial Intelligence 1038, Agent Breaking Away, W. Van de Valde and J. Param (Eds), Netherlands, pp 1990-1993, January 1996.

[JAC 83] Jackendoff R., *Semantics and Cognition*, Cambridge,, MIT Press, 1983.

[KIE 85] Kieras D., Polson P.G., *An approach to the formal analysis of user complexity*, Int. J. of Man-Machine Studies, 22, p. 365-394, 1985.

[KOR 96] Koriche F., *A method to model Cooperative Information Systems*, Ingenierie des Systemes d'Informations, Vol 4, N°2, 1996.

[LAP 92] Lapierre J.W., *L'Analyse des Systemes*, Syros, 1992.

[LEM 90] Lemoigne J.-L, *La Modélisation des systèmes Complexes*, Dunod, Paris, 1990.

[MAT 80] Maturana H., Varela F., *Autopoiesis and Cognition: the realisation of the living*, Boston, D. Reidel, 1980.

[SEA 69] Searle J. R., *Speechs Acts*, Cambridge University Press, 1969.

[STE 94] *Can the processes of mental representation and decision-making in a major emergency or crisis situation be modified ?*, Final report, Contract CEE STEP CT 90-94, 1994.

[SFE 92] Sfez L., *Critique de la décision*, Presse de la fondation nationale des Sciences Politiques, 1992.

[VAR 96] Varela F., *Organism, a meshwork of selfelss selves*, East-West Symposium on the Origins of Language, Paris, 1996.

[WAL 77] Walliser B., *Systèmes et modèles*, Seuil, Paris, 1977.