

CAHIER DU LAMSADE

Laboratoire d'Analyse et Modélisation de Systèmes pour l'Aide à la Décision
(Université Paris-Dauphine)
Unité de Recherche Associée au CNRS n° 825

AMCA : APPROCHE MULTICRITÈRE POUR LA COOPÉRATION ENTRE AGENTS

CAHIER N° 138
juin 1996

Flavien BALBO ¹
Pavlos MORAÏTIS ²
Suzanne PINSON ²

reçu : décembre 1995.

¹ Etudiant du DEA 127 "Informatique : Systèmes Intelligents" de l'Université Paris-Dauphine.

² LAMSADE, Université Paris-Dauphine, Place du Maréchal De Lattre de Tassigny, 75775 Paris Cedex 16.
e-mail: {moraitis,pinson}@lamsade.dauphine.fr.

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
Abstract	1
Résumé	1
1. Introduction	2
2. Approche multicritère et coopération	3
2.1 Concepts de base	3
2.2 Allocation multicritère d'un ensemble de tâches à un ensemble d'agents ..	5
2.3 Besoins de l'agent organisateur et critères d'évaluation	6
3. Un exemple	8
4. Approche Multicritère pour la Coopération des Agents (AMCA)	10
4.1 Un modèle "allocation" s'intégrant dans un modèle d'agent	10
4.2 Les étapes de la méthode AMCA	11
4.2.1 Recherche des informations nécessaires à l'évaluation	12
4.2.2 Processus d'attribution des poids et seuils aux critères	14
4.2.3 Recherche des évaluations des agents	15
4.2.4 Le processus d'affectation	16
5. Conclusion et perspectives	17
Bibliographie	18

AMCA : A Multicriteria Approach for Agent Cooperation.

Abstract

In multi-agent systems, much of the work has dealt with agents that cooperate to achieve common high level goals. A new cooperation method called AMCA is presented in this article. It deals with multicriteria allocation of tasks to agents. In contrast with the monocriteria approaches for example, the well known contract net approach, its originality stems from the fact that several points of view are taken into account and that preferences are aggregated to yield a satisfactory combinaison of a set of tasks allocated to a set of agents.

Key words : distributed artificial intelligence, multi-agent systems, multicriteria model, cooperation.

AMCA : Approche Multicritère pour la Coopération entre Agents.

Résumé

Dans les systèmes multi-agents, la coopération entre agents est un processus fondamental permettant la résolution globale d'un problème alors que chaque agent n'a qu'une vision locale du problème. Cet article présente une approche multicritère de coopération (méthode AMCA) ainsi que le modèle d'agent générique associé. Alors que les approches précédentes se sont attachées à développer des méthodes permettant de choisir dans un ensemble d'agents le meilleur possible suivant un seul point de vue, l'approche multicritère que nous proposons exploite les préférences des agents suivant différents critères et agrège les préférences pour trouver une combinaison satisfaisante entre un ensemble de tâches affectées à un ensemble d'agents. De plus la méthode repose sur une présélection des agents évitant ainsi l'utilisation de recherche par diffusion.

Mots-clés : Intelligence artificielle distribuée, systèmes multi-agents, modèles multicritères, coopération.

1. Introduction

Dans les systèmes multi-agents, la présence de nombreux agents dans un même environnement donne naissance à des interactions qui amènent les concepteurs à développer des modèles de coopération entre agents. Cet article s'intéresse à la coopération entre agents. Pour résoudre un problème, un agent génère un ensemble de tâches qu'il peut ne pas pouvoir réaliser lui-même. Il lui faut alors choisir les partenaires à qui il déléguera les tâches pour lesquelles il n'a pas la capacité ou le temps, et ce de façon optimale et dynamique.

Nous proposons une méthode multicritère qui permet à un agent d'effectuer ce choix. Il semble en effet intéressant de modéliser la coopération en exploitant les préférences des agents selon différents critères et en agrégeant ces préférences.

Le principal problème d'une société d'agents devant coopérer est d'obtenir un système efficace. Nous pouvons considérer qu'un système sera d'autant plus efficace que chaque agent effectue une tâche se rapprochant au mieux de son profil. Une gestion efficace suppose donc que le choix tienne compte de conditions ponctuelles reflétant l'état local de l'agent.

Les approches précédentes se sont attachées à développer des méthodes permettant de choisir, dans un ensemble d'agents, le meilleur possible suivant un seul point de vue. Ainsi, chacune observe les différents postulants sous un angle particulier, l'approche de base étant de choisir un agent ayant la connaissance nécessaire à sa réalisation [MOR94] ; [CEV92]. Cette approche peut être considérée comme statique puisque les accointances sont représentées par un graphe d'interaction faisant partie des connaissances de l'agent. Dans ce cas, l'allocation consiste à parcourir le graphe. Toutes les interactions possibles doivent être connues à l'arrivée d'un nouvel agent, ce qui rend le système difficilement adaptable à une situation nouvelle.

Une amélioration de cette approche consiste à établir un classement parmi cet ensemble. La différence entre les auteurs réside dans l'intérêt porté aux postulants. Ainsi, certains recherchent les agents les plus motivés [KHU94] ; [ROS85] ; [ZLO91] ou encore les plus libres [TID92]. L'avantage de ces méthodes réside dans leur aspect dynamique, l'agent réévaluant ses connaissances au cours du temps. Il utilise en effet des données telles que les buts d'un agent [KUH94], les liens de dépendances entre agents [SIC94a] ; [SIC94b], le gain d'utilité [ROS85] ; [ZLO91] qui évoluent avec le temps. Dans Kuhn, la meilleure combinaison (agent, tâches) est trouvée. Des mesures telles que le coût, le temps, l'adéquation entre le plan d'un agent pour atteindre un but et le but lui-même permettent de construire une relation de préférence. Dans Sichmann [SIC94a] ; [SIC94b], les réseaux de dépendance permettent de choisir le meilleur partenaire, meilleur étant pris au sens de " sûr ". Ce modèle est fondé sur la théorie du pouvoir social de Castelfranchi (1992). Dans [ROS85] ; [ZLO91], un agent évalue l'intérêt de s'associer à un autre agent. Une matrice des paiements est calculée et donne les gains de chaque participant en fonction des combinaisons possibles d'actions. La combinaison permettant de maximiser l'utilité de chaque agent est choisie.

Nous pouvons observer une constante dans les démarches monocritères : il s'agit d'estimer les performances des agents possibles suivant le point de vue retenu puis de choisir le meilleur. Pour cela, les différentes méthodes établissent une relation d'ordre total entre les agents suivant un point de vue précis. Une étude monocritère a le désavantage d'obliger l'organisateur à choisir dans tous les cas le même type d'agent, quel que soit ses besoins. Notre approche a pour avantage d'utiliser une méthode multicritère permettant de nous situer à un niveau supérieur puisqu'elle permet de choisir en fonction de multiples points de vue (chacun pouvant permettre un classement des agents). Il ne s'agit donc plus de choisir le meilleur agent dans un domaine mais dans un cadre plus large, celui répondant au mieux aux besoins de l'agent organisateur. Nous reviendrons plus en détail sur cette notion centrale d'adéquation entre les besoins de l'initiateur et la définition de la procédure de choix notamment dans la description des critères. Notre approche permet également de prendre en compte les problèmes inhérents à un système multi-agents : imprécision des mesures, caractère conflictuel des informations. Ces problèmes liés à un environnement dynamique sont gérés par la méthode multicritère employée ELECTRE III(cf. paragraphe 2.1).

Nous verrons également que la problématique choisie consiste à attribuer un ensemble de tâches à un ensemble d'agents et donc à trouver une combinaison satisfaisante (agent/ tâches). Cette approche sous-entend que chacune des tâches ne recevra pas obligatoirement le meilleur agent possible mais celui permettant une répartition plus performante en moyenne de l'ensemble des tâches.

Dans cet article la section deux s'attache à présenter notre approche multicritère de la coopération, en définissant notamment les critères utilisés. Nous présenterons dans la section trois un exemple afin d'illustrer le problème que nous abordons. La section quatre expose la mise en oeuvre de la méthode et son intégration dans un modèle de l'agent.

2. Approche multicritère et coopération

2.1 Concepts de base

Avant de définir un problème multicritère, il est nécessaire de présenter la terminologie relative à ce domaine. Ainsi, une action potentielle est une action réelle ou fictive provisoirement jugée réaliste par un acteur au moins ou présumée telle par l'homme d'étude en vue de l'aide à la décision ; l'ensemble des actions potentielles sur lequel l'aide à la décision prend appui au cours d'une phase d'étude est noté $A = \{a_i, i \in I\}$, $I = \{1, 2, \dots, n\}$ [ROY93]. *Dans notre problème, l'ensemble des actions potentielles correspond à l'ensemble des agents susceptibles de pouvoir effectuer une tâche.*

La représentation des points de vue au moyen d'une famille de critères (notée $F = \{c_j, j \in J\}$, $J = \{1, 2, \dots, m\}$) est un des points essentiels de la formulation d'un problème

multicritère. La famille F doit représenter autant que possible toutes les facettes du problème tout en évitant les redondances.

Les ensembles des informations inter-critères (poids) relatifs à chaque décideur seront libellés par la lettre $W = \{w_j, j \in J\}$.

Les évaluations des actions en regard des critères sont définies comme étant une fonction à valeur réelle. Cette représentation fonctionnelle n'est autorisée que si elle est précédée d'une étape au cours de laquelle les critères de nature qualitative sont numérisés [KHE95]. Soit ξ_{ij} la performance de l'action i pour le critère j définie ainsi :

$$\begin{aligned} \xi : A \times F &\rightarrow \mathbb{R} \\ (a_i, c_j) &\rightarrow \xi(a_i, c_j) = \xi_{ij}, i \in I, j \in J \end{aligned}$$

Enfin un problème de décision multicritère est une situation où, ayant défini un ensemble A d'actions et une famille F cohérente de critères sur A, nous désirons soit déterminer un sous-ensemble d'actions considérées comme les meilleures vis-à-vis de F (problème de choix), soit partitionner A en sous-ensembles suivant des normes préétablies (problème de tri), soit ranger les actions de A de la meilleure à la moins bonne (problème de rangement). Le problème multicritère type est de trouver la meilleure action parmi l'ensemble des actions possibles selon un ensemble de critères (représentant les besoins du décideur).

Electre III [ROY93] est la procédure de classement que nous avons retenue. Elle s'appuie sur la relation de surclassement. Par relation de surclassement, nous désignons la relation suivante :

Dans une relation de surclassement, une action a_i surclasse une action a_j si a_i est au moins aussi bonne que a_j relativement à une majorité de critères sans être trop nettement plus mauvaise que a_j relativement aux autres critères [VIN89].

Cette définition a pour conséquence qu'une action par ailleurs excellente mais fortement dominée sur un point peut ne pas être choisie, alors qu'un choix par simple pondération a pour tendance à faire jouer un rôle significatif à des écarts qui ne le sont pas.

Cette méthode permet de prendre en compte l'imprécision, l'incertitude dans les jugements en utilisant des *pseudo-critères*, c'est-à-dire des critères qui acceptent des "marges" appelées *seuils* dans leurs évaluations (*seuil d'indifférence*, *seuil de préférence*, *seuil de veto*). Ce type de critères a été développé pour pallier les limites du modèle de vrai-critère qui ne crée qu'une relation fondée sur une préférence stricte ou une indifférence entre deux actions. Or, les différentes évaluations comportent une part d'arbitraire, notamment pour les jugements qualitatifs, mais également d'imprécision, d'incertitude et/ou de mauvaise détermination. Le modèle du pseudo-critère permet d'intégrer explicitement les éléments mal définis ou connus avec une marge d'imprécision. Les *seuils* (appelés *seuil de discrimination*) sont utilisés pour juger du caractère significatif de la différence entre les évaluations de deux actions pour un critère. Le *seuil d'indifférence* précise la différence maximale "tolérée" pour que deux actions

soient jugées indifférentes pour ce critère. De même, le *seuil de préférence* indique la limite pour que l'une des deux actions soit préférée. Le *seuil de veto* donne la valeur au-delà de laquelle la différence est telle qu'une des actions surclasse l'autre quelles que soient leurs performances sur les autres critères. L'utilisation de ces seuils entraînent de nombreux calculs, cependant si l'utilisateur considère que le temps d'exécution est trop important, il a la possibilité de le diminuer en n'utilisant que le seuil de préférence (il suffit de donner une valeur nulle aux deux autres critères).

La famille de critères doit représenter les besoins du décideur. Pour trouver les critères, il faut donc se demander ce qu'un agent peut être en droit d'attendre du travail d'un autre. Une fois ces axes définis, il convient de caractériser les différents éléments qui peuvent influencer ce besoin.

2.2 Allocation multicritère d'un ensemble de tâches à un ensemble d'agents

Soit $A = \{a_i, i \in I\}$, $I = \{1, 2, \dots, n\}$ l'ensemble des agents et $T = \{t_1, t_2, \dots, t_v\}$ l'ensemble des tâches à allouer ; notre objectif est d'obtenir une combinaison satisfaisante (a_i, t_k) suivant les critères $F^k = \{c_j^k, j \in J, k \in K\}$, $J = \{1, 2, \dots, m\}$, $K = \{1, 2, \dots, v\}$, chaque tâche possédant sa propre famille de critères et sa propre pondération $W^k = \{w_j^k, j \in J, k \in K\}$, r^k étant le nombre de critères de la tâche t_k .

Les données disponibles peuvent être synthétisées à l'intérieur d'un tableau de performances ξ :

Tâches	t_1				t_k				t_v		
Critères Agents	c_1^1	...	$c_{r_1}^1$		c_1^k	...	$c_{r_k}^k$		c_1^v	...	$c_{r_v}^v$
a_1	ξ_{11}^1	...	$\xi_{1r_1}^1$		ξ_{11}^k	...	$\xi_{1r_k}^k$		ξ_{11}^v	...	$\xi_{1r_v}^v$
$\vdots$		...				...				...	
a_n	ξ_{n1}^1	...	$\xi_{nr_1}^1$		ξ_{n1}^k	...	$\xi_{nr_k}^k$		ξ_{n1}^v	...	$\xi_{nr_v}^v$

Tableau 1 : Tableau de performances.

Il est à noter que chaque agent n'est compétent que pour un sous-ensemble de tâches (certains éléments du tableau peuvent être vides).

2.3 Besoins de l'agent organisateur et critères d'évaluation

Pour l'agent organisateur, chaque agent postulant doit effectuer un travail plus ou moins *rapide, complet et précis*. Plus ou moins signifie que l'organisateur doit pouvoir préciser pour chaque nouvelle tâche, l'importance (poids) qu'il accorde à ces trois points de vue. Ainsi, il peut décider, pour ses propres besoins, qu'une tâche soit effectuée le plus rapidement possible sans souci de précision ou de détail pour travailler à partir d'une simple estimation ou, au contraire, ne pas se soucier du temps pour obtenir un résultat le plus proche possible de la réalité. Des priorités sont attachées aux tâches en fonction du contexte (demande d'un autre agent ou contraintes de planification). Ces classes d'équivalence permettent de prendre en compte la priorité que l'agent organisateur accorde à chacune des tâches.

Les informations concernant ces besoins sont contenues dans la représentation d'une tâche, consistant en : la description de la tâche (dépendant du type de problème), les besoins de l'organisateur représentés par les poids attribués à chaque axe d'étude (temps, précision, détail) et le niveau de qualité de l'agent recherché.

Il s'agit maintenant de définir ce qui rend un agent rapide, précis, pouvant fournir de nombreux détails. Nous proposons un ensemble de critères classés suivant trois composantes : les caractéristiques de l'agent, les caractéristiques de la méthode qu'il emploie, les caractéristiques de l'information dont il dispose. Cette liste n'est pas exhaustive mais permet d'apprécier l'étude de problèmes où l'information joue le rôle de ressource première. L'étude des caractéristiques de ces trois composantes nous amène à identifier les critères suivants :

1) Critères caractérisant l'agent

C1 : Le niveau activité

Ce critère représente la charge de travail que l'agent supporte actuellement. Nous prenons en compte tant son activité actuelle que son activité future. Ces données permettent d'ajuster les besoins en rapidité d'exécution aux disponibilités des postulants.

C2 : L'expérience de l'agent

Nous prendrons en compte cette donnée si la tâche est complexe et si au moins un agent possède un module d'apprentissage. De plus, une tâche complexe sera considérée comme susceptible d'être décomposée et il est préférable dans ce cas de choisir un agent ayant de l'expérience. Une décomposition suppose, en effet, une affectation d'un ensemble de sous-tâches et l'expérience limite le risque de recherche par diffusion de postulants dans le cas où l'agent ne possède pas d'accointances relatives aux tâches à distribuer.

C3 : Le niveau de spécialisation

Il s'agit essentiellement de mesurer la capacité de l'agent à analyser un problème, à fournir une étude plus ou moins détaillée. Ce critère ne prend pas en compte la précision numérique des résultats. Cette distinction permet de définir des agents aptes à analyser un problème sans perte de temps en calcul. Dans l'étude d'un problème, la première approche consiste à analyser l'énoncé afin d'obtenir tous les renseignements possibles (toutes les « pistes » possibles) sans pour autant s'intéresser à la justesse numérique des résultats, cette tâche pouvant par la suite être affectée à un autre agent.

C4 : L'intérêt de l'agent

L'intérêt de l'agent est suscité par la possibilité d'utiliser les résultats de la tâche ou parce que l'intégration de la tâche à son activité facilite son travail. Les avantages sont multiples : un agent portant de l'intérêt à une tâche est susceptible de l'intégrer à son activité actuelle et donc de réduire le temps de réponse ; il est également plus sûr d'obtenir un résultat. En facilitant le travail de l'agent choisi, nous obtenons également une amélioration du système dans son ensemble.

2) Critères caractérisant la méthode

C5 : l'efficacité de la méthode

Ce critère juge la méthode en fonction de son temps d'exécution.

C6 : la qualité de la méthode

Ce critère juge la méthode en fonction de la précision du résultat.

Les évaluations des critères caractérisant la méthode sont stockées chez l'agent organisateur dans la liste de ses accointances et sont estimées dans des conditions parfaites d'exécution.

3) Critères caractérisant l'information

Tous les critères jugeant l'information sont estimés chez les agents postulants puisqu'ils évoluent avec le temps.

C7 : la quantité

Le rôle du nombre d'informations relatives au problème est important lorsque le temps intervient. En effet, si un agent ne possède pas l'information adéquate, il devra envoyer une requête à un autre agent pour l'obtenir, ce qui allonge le temps d'exécution. Ainsi, un agent ayant la méthode la plus rapide avec peu d'informations risque d'être moins efficace qu'un agent un peu moins rapide mais possédant plus d'informations. Ce critère est également important si l'organisateur désire obtenir de nombreux détails.

C8 : la confiance

La confiance dans l'information relativise le nombre d'informations possédées par un agent. Chaque information est caractérisée par la confiance qui lui est accordée ainsi que par sa structure. L'agent postulant évalue la confiance qui peut être accordée aux informations qu'il a en sa possession. Un niveau de confiance faible signifie qu'elles peuvent être sujettes à vérification, ce qui influence le temps d'exécution. De même, plus l'information est sûre, plus le résultat le sera.

C9 : la structure de l'information

La structure de l'information est une autre caractéristique importante mais pose un problème particulier car plus une information a une structure complexe, plus sa précision est importante mais plus sa manipulation est longue. Ce critère a donc un comportement antagoniste suivant le point de vue choisi (temps ou précision). Pour résoudre ce problème, nous ne tiendrons pas compte de ce critère si l'écart entre l'importance accordée au temps et à la précision est faible. Sinon, si la précision est plus importante, alors les évaluations seront prises en l'état ; sinon, les

valeurs inverses seront utilisées (plus un agent aura des informations dans une structure difficile à manipuler, plus il sera jugé comme mauvais pour ce critère).

Les critères que nous venons de présenter sont de deux types : les critères de type « persistants » et les critères de type « ponctuels » (leurs valeurs évoluent avec le temps). Les critères de type persistants sont contenus chez l'agent organisateur au sein du module *accointance*. Nous y trouvons, pour chaque capacité de l'agent référencé, une estimation de l'efficacité (critère C5) et de la qualité (critère C6) de la méthode employée ainsi que le niveau de spécialisation (critère C3).

Les critères « ponctuels » représentent l'ensemble des informations envoyées par les postulants et nécessaires au jugement de l'agent organisateur. Ce sont les critères relatifs au niveau d'activité (critère C1), à l'expérience (critère C2), à l'information (critère quantité C7, critère structure C8, critère confiance C9), ainsi que l'intérêt porté à la tâche par le postulant (critère C4).

Nous pouvons constater que certains critères se positionnent sur plusieurs axes à la fois. Ainsi, le critère confiance dans l'information (critère C8) est relatif au temps mais également à la précision et au niveau de détail. Ces différents critères peuvent être classés dans les ensembles suivants (figure 1) :

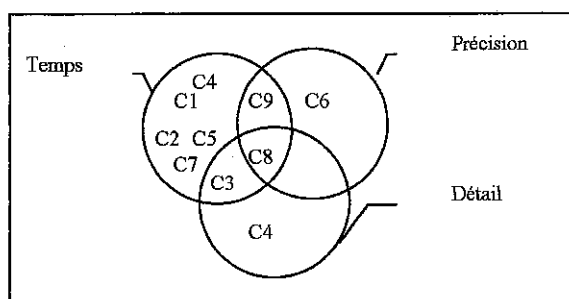


Figure 1 Positionnement des critères suivant trois points de vue

Par ailleurs, nous introduisons deux concepts importants : le jugement porté par le postulant sur l'utilité de son expérience et sur l'utilité de l'information pour réaliser la tâche. Par exemple si l'agent organisateur délègue la tâche par manque de temps mais possède toute les informations nécessaires à sa réalisation, il est inutile de sélectionner les agents sur des critères relatifs à l'information.

3. Un exemple

Nous allons présenter un exemple simplifié qui nous permettra d'illustrer les principes développés tout au long de l'article. L'agent organisateur doit, dans cet exemple, rechercher des renseignements sur des formes géométriques imbriquées que nous appellerons également parcelle (figure 2).

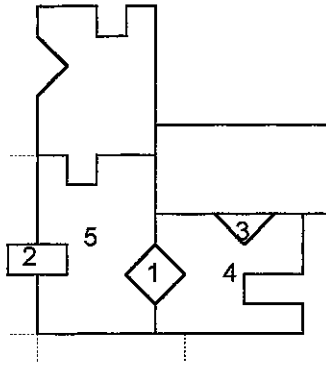


Figure 2 *Un exemple d'application.*

L'intérêt accordé à une parcelle peut porter sur son périmètre, son aire, la longueur d'un coté particulier, la distance entre deux sommets... Les résultats peuvent être obtenus avec différents niveaux de qualité, par exemple une parcelle de type 1 peut être étudiée suivant les trois décompositions présentées dans la figure 3, chacune donnant un niveau de précision différent. Ainsi pour un degré de précision 0 la surface est considérée comme étant un parallélogramme alors que pour le degré 2 seule l'encoche de droite est négligée, la décomposition en cinq sous parcelles permettant une meilleure étude. Le choix du type de décomposition dépend des attentes de l'agent organisateur (importance du temps, de la précision, du niveau de détail).

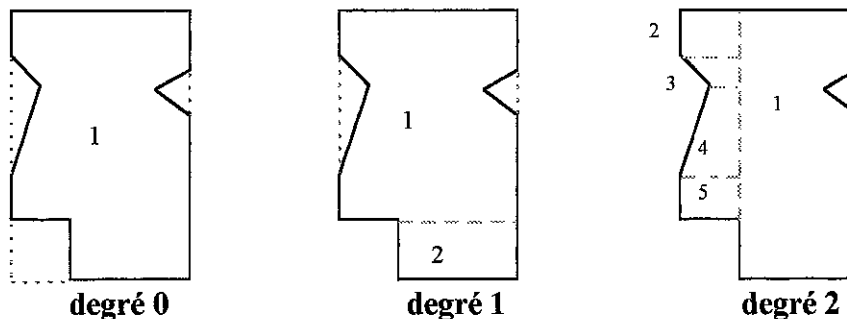


Figure 3 *Différents niveaux de précision pour l'étude d'une parcelle de type 1.*

Dans notre exemple l'agent organisateur doit répartir cinq parcelles (figure 2). Chaque parcelle est associée à une tâche à réaliser, possédant les caractéristiques décrites dans le tableau 2

DESCRIPTION PARCELLE N°	COMPÉTENCE REQUISE	POSITION DANS LE TEMPS	COMPLEXITE DE LA TACHE	QUALITE DU CHOIX	IMPORTANCE		
					du temps	de la précision	du niveau de détail
1	périmètre carré	immédiate	3	supérieur	0,9	0,5	0
2	aire rectangle	immédiate	2	normal	0,8	0,5	0
3	aire triangle	proche	4	normal	0,8	0,5	0
4	surface type 1	loin	8	normal	0,8	0,9	0,6
5	étude type 2	très loin	8	supérieur	0,7	0,5	0,9

Tableau 2 : Description des tâches.

Chaque parcelle possède ses propres caractéristiques : la compétence requise décrit le travail que l'agent devra réaliser ; la position dans le temps indique si l'agent recherché doit être libre de suite ou si un délai est accordé pour obtenir un résultat ; la complexité de la tâche permet de déterminer l'importance à accorder à l'expérience : plus la tâche est complexe plus l'expérience peut être déterminante. De plus si la tâche est complexe, l'agent choisi devra passer du temps à son exécution. Dans ce cas, si l'agent organisateur souhaite obtenir un résultat rapidement il devra choisir un agent qui n'a pas une charge de travail trop importante et qui n'est pas en attente d'un travail important. La qualité du choix de l'agent précise si la procédure de choix doit être particulièrement sélective et modifie l'attribution des valeurs données aux seuils (cf. paragraphe 4.2.2) ; l'importance donnée aux trois axes d'étude (temps, précision, détail) est mesurée par un poids compris entre 0 et 1.

Par exemple, les caractéristiques des tâches 2 et 4 montre une diversité de profil chez les agents recherchés. Ainsi pour la tâche 2, l'agent recherché doit pouvoir donner un résultat sans délai au vu de l'importance accordée au temps (0,8) et de la position de la tâche dans le temps (immédiate), avec une précision moyenne (0,5), sans prendre en compte les critères relatifs au niveau de détail.

Pour la tâche 4, l'agent organisateur attend également un résultat rapidement (0,8) mais dans un futur plus ou moins proche (loin). Il estime dans ce cas soit que la réalisation de la tâche ne peut pas se faire de suite (parce qu'il manque d'informations ou que d'autres tâches sont plus prioritaires), soit qu'il n'a pas besoin du résultat actuellement mais qu'il souhaite l'obtenir rapidement lorsqu'il en aura besoin. Pour répondre à ces exigences, l'agent organisateur doit donc rechercher un agent rapide (par sa méthode et ses informations) n'ayant pas (à l'instant de l'estimation) une charge de travail trop importante dans le futur.

La tâche 5 nécessite un autre type d'agent, qui peut se définir comme l'opposé de l'agent recherché pour la tâche 1 puisqu'il s'agit d'un agent pouvant analyser un problème en détail (0,9) et étant moyennement soucieux du temps (0,7) alors que le second (tâche 1) serait un agent exécutant une tâche primaire (calcul simple impliquant une multiplication : le périmètre) rapidement (importance du temps : 0,9).

La procédure de décision multicritère prend en compte tous ces paramètres afin de trouver les agents répondant aux mieux à ces besoins. Cet exemple nous a permis de montrer que l'approche que nous allons présenter dans la section suivante offre à l'agent organisateur la possibilité de définir des profils d'agents différents. Cette richesse est due au choix dynamique des critères, à l'importance que l'agent leur accorde, ainsi qu'aux renseignements sur la tâche, notamment sa position dans le temps.

4. Approche Multicritère pour la Coopération des Agents (AMCA)

4.1 Un module « allocation » s'intégrant dans un modèle d'agent

Nous proposons un modèle d'agent générique qui inclut un module « allocation » (figure 4). Le module *allocation* communique avec le module de résolution dans le cadre d'une résolution

coopérative de problèmes. Le module de résolution fournit les différents renseignements relatifs aux tâches et manifeste ainsi ses besoins et donc celles de l'agent organisateur. Ce modèle d'agent permet à un même agent de jouer le rôle d'organisateur mais également celui d'exécutant. C'est dans ce but que le module *allocation* communique avec les autres modules de l'agent afin de collecter les informations lui permettant de répondre à la sollicitation d'un autre agent.

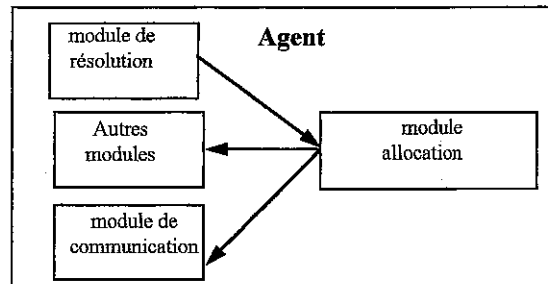


Figure 4 *Modèle générique d'agent*

Le module *allocation* est composé de quatre sous-modules (figure 5) : le module critère, le module accointance, le module attribution, le module dialogue (les notations de la figure 5 sont reprises tout au long des paragraphes suivants et correspondent aux noms des sous-modules).

Le module *critère* choisit les critères puis les caractérise (poids et seuils).

Le module *accointance* choisit les agents en fonction de leurs compétences et remplit la matrice des évaluations de chacune des tâches pour lesquelles les agents postulent.

Le module *dialogue* permet l'échange de messages entre le module *allocation* et les autres modules de l'agent.

Le module *attribution* intervient à la fin du processus pour choisir l'agent qu'il va affecter à la tâche et répercuter ce choix.

4.2 Les étapes de la méthode AMCA

La méthode de recherche des couples agent-tâche (a_i, t_k) que nous proposons se décompose en quatre étapes regroupés en deux phases : 1) la recherche des informations nécessaires à l'évaluation (recherche des postulants et des critères pertinents), 2) l'évaluation des critères (attribution des poids et des seuils), 3) la recherche des évaluations des agents, 4) le processus d'affectation. La figure 6 permet d'obtenir une vision synthétique de l'algorithme. Les différentes étapes y sont représentées ainsi que l'évolution des connaissances de l'agent organisateur.

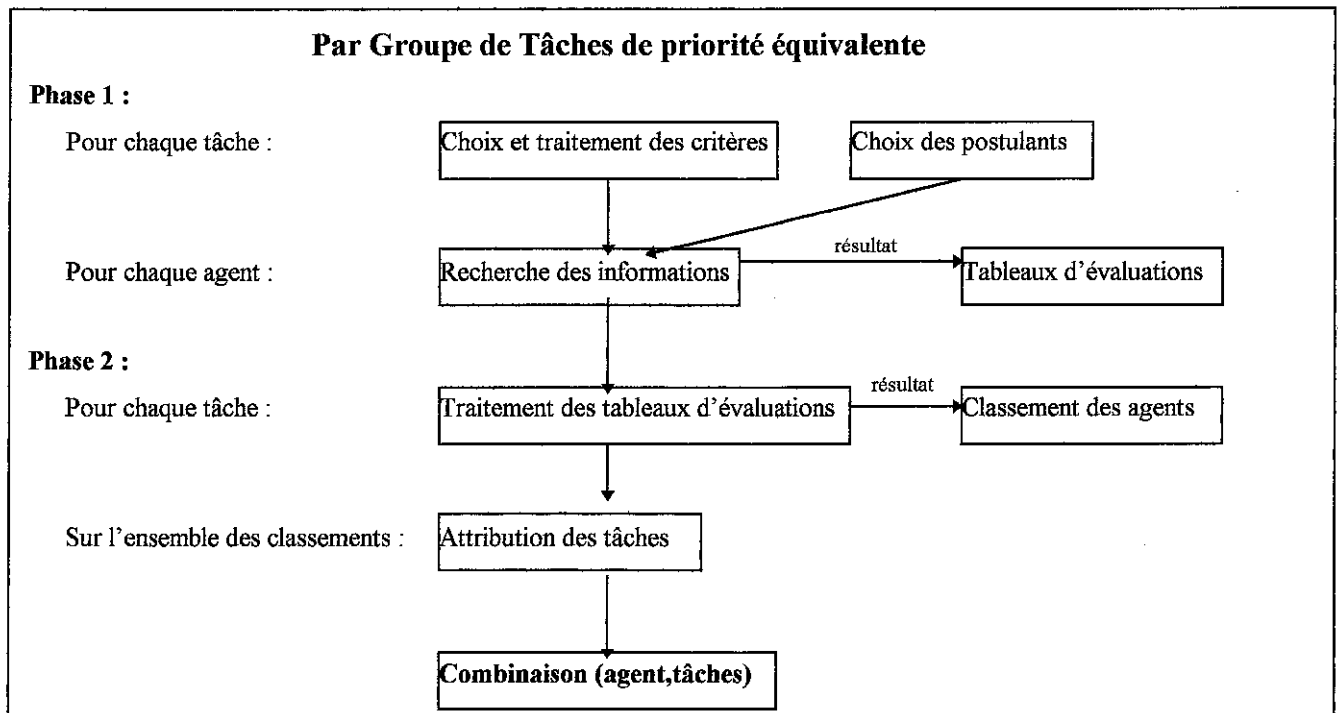


Figure 6 : Description des étapes de la méthode AMCA

4.2.1 Recherche des informations nécessaires à l'évaluation

Nous distinguons deux phases : un traitement des tâches sans priorité puis par groupe de priorité. Cette distinction est due à la possibilité qu'a un agent de postuler à différentes tâches. Cependant, celui-ci ne devant être contacté qu'une seule fois, il est nécessaire de connaître l'ensemble des tâches où il postule.

La première étape consiste donc à préparer la phase de recherche des informations nécessaires à l'évaluation : les agents possibles (module Ac1) et les critères pertinents (module Cr1) (figure 5). Le module *accointance* est chargé de déterminer les postulants en fonction de la capacité requise. C'est lors de cette recherche que le module détermine la liste des agents à contacter, qui sera utilisée par le module *dialogue* afin de contrôler l'envoi des messages. Un message est constitué des renseignements suivants : le nom de la tâche (afin de faciliter le traitement des réponses), sa description (afin que l'agent contacté puisse évaluer sa réponse). Dans notre exemple des parcelles, le message contient une description de la parcelle (les longueurs connues avec leurs caractéristiques connues). Un message contient également le vecteur des critères pertinents que l'agent devra renseigner.

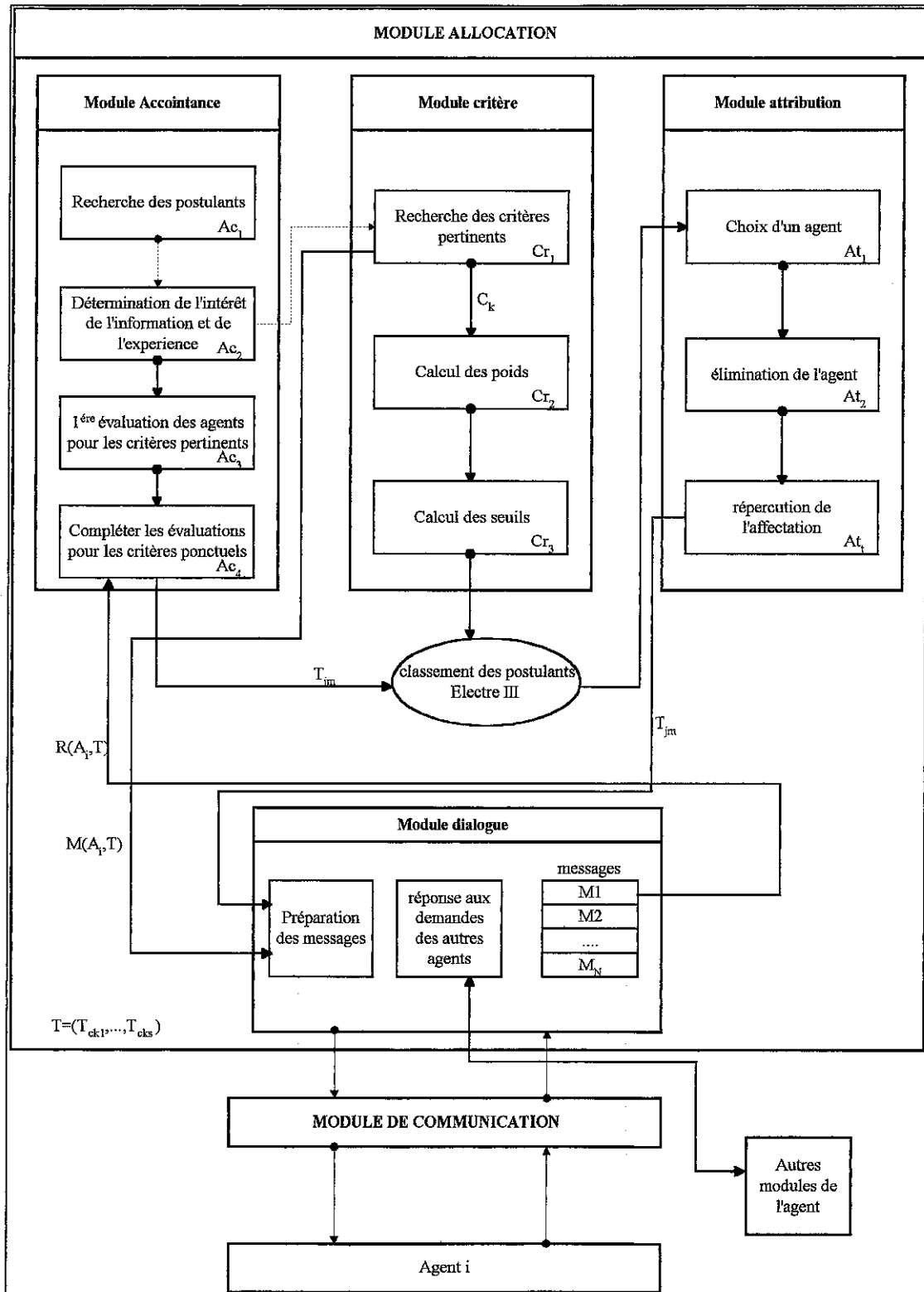


Figure 5 Structure du module allocation et flux associés

Afin d'obtenir les critères pertinents, le module *accointance* commence par étudier l'intérêt de l'expérience du postulant et de l'information suivant les principes développés lors de la description des critères (p 8). Le choix des autres critères repose sur la valeur accordée aux poids. Si un poids a une valeur nulle, les critères relatifs à l'axe d'étude correspondant ne seront pas sélectionnés. Le choix des critères se fait en respectant la répartition proposée au paragraphe 2.3 (figure 1).

Le traitement par groupe de tâches de priorité équivalente peut se décomposer en deux sous-étapes principales : la rédaction des messages et leur envoi, puis la préparation de la procédure de classement (figure 5).

Lorsque tous les agents possibles pour un groupe de tâches de priorité donnée, ont été contactés, le module, pendant l'attente des réponses, prépare les renseignements manquants nécessaires à la procédure de classement.

4.2.2 *Processus d'attribution des poids et seuils aux critères*

Le module *critère* effectue l'attribution des poids (module Cr2) et des seuils (module Cr3) aux critères retenus.

A chaque tâche correspond un besoin différent de l'organisateur ; il faut donc pouvoir tenir compte dynamiquement de sa volonté. Pour cela l'organisateur accorde un poids aux critères relatifs au temps, à la précision et au niveau de détail. Ce poids global doit être réparti entre les différents critères afin de permettre l'emploi d'ELECTRE III. Cette répartition du poids accordé à un ensemble de critères repose sur quatre principes : l'importance intrinsèque du critère, sa relation particulière avec d'autres critères, le niveau de difficulté de la tâche et la position de la tâche dans le temps (la tâche peut être réalisée immédiatement ou en différé). Les trois premiers principes permettent d'accorder un poids initial au critère, le dernier principe servant à prendre en compte l'influence du temps sur les évaluations. Afin de préciser la méthode employée, nous étudierons la répartition du poids accordé au temps : tenir compte de l'importance intrinsèque d'un critère revient à établir une hiérarchie. En considérant l'axe temporel, les critères peuvent être classés suivant trois niveaux d'importance :

- niveau 1 : C1 C5 C7
- niveau 2 : C2 C4
- niveau 3 : C8 C9

A titre d'exemple, le critère C1 (niveau d'activité de l'agent) a une influence plus importante sur le temps d'exécution que le critère C9 (structure de l'information).

Pour l'attribution des poids, nous prenons en compte les caractéristiques de la tâche, notamment sa complexité et sa position dans le temps. La complexité détermine l'importance accordée à l'expérience alors que la position dans le temps permet de relativiser le poids accordé aux critères ponctuels. De plus, cette évaluation ayant lieu dans un environnement dynamique, il n'est pas possible d'accorder une confiance totale aux différentes évaluations. Si

elles sont susceptibles d'évoluer, si l'erreur est dommageable et si la tâche est loin dans le temps, alors l'importance accordée au critère concerné doit diminuer. Dans ce cas plus la tâche est éloignée dans le temps, plus il est sage d'affecter des poids plus importants aux critères portant sur les caractéristiques propres aux agents.

Le choix des seuils (module Cr3) est une partie délicate dans un problème multicritère. Il faut tenir compte de l'échelle adoptée, du niveau de qualité de l'agent recherché et de la fiabilité des performances. La tolérance accordée dans la mesure des écarts entre les performances doit tenir compte de l'échelle d'évaluation du critère. Le critère reçoit les différents seuils initiaux le concernant en fonction de ce paramètre, cette valeur étant affinée par l'étude du niveau de qualité. Nous définissons deux modalités pour le niveau de qualité : normale ou supérieure. Dans le premier cas, le seuil initial ne subit pas de modification. Dans le second, la valeur attribuée aux seuils est diminuée afin de rendre la procédure plus sélective.

Comme nous l'avons vu pour l'attribution des poids, les performances des agents pour certains critères sont susceptibles d'être remises en cause par la position de la tâche dans le temps. Si cette position est lointaine, il est nécessaire d'augmenter la valeur des seuils de ces critères afin de tenir compte de cette approximation.

Pour chaque seuil de chaque critère, la procédure est donc la suivante :

début

déterminer la valeur initiale

puis :

- si le niveau de qualité est supérieur alors diminuer la valeur
- si la tâche est loin dans le temps et si le critère peut évoluer alors augmenter la valeur

fin

4.2.3 Recherche des évaluations des agents

Le but de cette phase est de remplir le tableau des performances (paragraphe 2.2). Le module *accointance* recherche dans un premier temps, si nécessaire, toutes les évaluations relatives aux critères dont l'organisateur connaît la valeur (module Ac3). Les critères concernés sont la qualité et l'efficacité de la méthode ainsi que le niveau de spécialisation. Pour cela, l'organisateur consulte pour chaque tâche, dans le cas où ces critères sont pertinents, la liste de ses accointances afin de déterminer sa performance sur ces critères. Les critères demandant une évaluation ponctuelle doivent attendre les réponses $R(A_i, T)$ de l'agent A_i aux messages

Chacun des agents contactés évalue la demande (dont la description est fournie au paragraphe 4.2.1) afin de fournir une réponse appropriée. Pour cela, nous distinguons les critères qui sont dépendants de la description de la tâche et ceux qui dépendent uniquement de l'agent. Cette dernière catégorie ne contient que le critère relatif au niveau d'activité. Il s'agit

en effet d'un renseignement identique pour toutes les tâches ; seul le traitement de la réponse sera différent en fonction des besoins de l'organisateur. Si la tâche doit être effectuée immédiatement, la charge de travail actuelle du postulant sera pondérée plus fortement.

L'agent regarde pour les critères non renseignés chacun des éléments du *vecteur_message* afin d'adapter sa réponse. Pour chacun des messages, le traitement des critères est le suivant (conditionné par leur présence) :

- Pour les critères relatifs à l'information, l'agent compare l'information qu'il possède à celle qui pourrait être intéressante. Pour l'ensemble des informations appartenant à l'intersection et ne faisant pas partie des informations fournies ou en faisant partie mais avec un niveau de confiance ou de format supérieur à ceux connus, l'agent effectue une moyenne des valeurs accordées au niveau de confiance et de la structure. Pour l'exemple des parcelles, l'agent contacté compare les longueurs sur lesquelles il a des informations à celles fournies dans la description de la tâche. Si une longueur est déjà connue de l'agent organisateur alors elle ne sera prise en compte que si elle est de meilleure qualité.
- L'intérêt de l'agent se mesure en fonction de l'usage qu'il pourra faire des résultats. Si l'information intéressante pour son exécution fait partie des informations recherchées par l'agent, alors l'intérêt est augmenté. Dans notre exemple, l'intérêt de l'agent contacté augmente si un renseignement demandé fait partie des renseignements cherchés par cet agent pour l'étude d'une autre parcelle.
- L'expérience se mesure à partir de la compétence requise par le nombre de problèmes du même type résolu par l'agent.

Le message de réponse $R(A_i, T)$ contient, pour chaque critère, une évaluation faite par l'agent A_i concernant la tâche T .

Le module Ac_4 tient compte des méthodes de calcul relatives à chaque critère. Ainsi, comme nous l'avons vu lors de la description des critères, le calcul du niveau d'activité et la structure de l'information demandent un traitement particulier.

4.2.4 Le processus d'affectation

Lorsque toutes les tâches d'un même groupe de priorité ont subi le traitement décrit précédemment, le module d'affectation peut procéder à la détermination du classement des postulants pour chacune d'elles. Comme nous l'avons vu (paragraphe 2) la méthode choisie est ELECTRE III. C'est lors de cette étape que la procédure de calcul multicritère est lancée pour chacune des tâches du groupe de priorité traité. Son résultat pour chacune des tâches est un classement des agents postulants sous forme d'un ordre médian que le module d'attribution va utiliser afin de procéder à l'affectation.

Les tâches d'un même groupe de priorité sont reclassées en fonction du niveau de qualité recherché ainsi que du nombre d'agents disponibles par tâche. Reclasser en fonction du niveau de qualité recherché permet de ne pas choisir un agent mal classé pour une tâche que l'on souhaite favoriser. Prendre en compte le nombre de postulants permet d'éviter que les dernières

tâches du groupe n'aient plus d'agents à leur disposition, la priorité allant aux tâches n'ayant pas assez de postulants.

En suivant l'ordre du classement, chaque tâche traitée se voit attribuer le premier agent de son classement par le module At1 (figure 5). Cet agent est rendu indisponible (module At2) pour les autres éléments du groupe de priorité et son affectation est répercutée pour les tâches des autres groupes (module At3). Cette répercussion consiste en une augmentation de la charge de travail connue de l'agent concerné.

Lorsque chacune des tâches du groupe a obtenu un agent, la procédure est réitérée sur l'ensemble des tâches de priorité inférieure. Le module s'arrête lorsqu'il n'y a plus de tâche affecter.

5. Conclusion et perspectives

Dans cet article, nous proposons une approche multicritère comme solution au problème de coopération dans les systèmes multi-agents et plus particulièrement au problème de l'attribution de tâches aux agents. Cette approche présente de nombreux avantages par rapport aux approches bien connues comme par exemple le réseau de contrat [DAV88] : 1) elle implique un nombre d'interactions moindre que celui induit par la coopération dans le réseau de contrat puisque seul les agents compétents pour réaliser une tâche sont contactés, 2) elle permet de sélectionner les agents en fonction de plusieurs points de vue (procédure multicritère) et pas seulement d'un seul point de vue (approche monocritère), 3) elle permet un choix dynamique des critères ce qui implique que la procédure d'affectation de tâches aux agents n'utilisera pas les mêmes critères d'un agent à l'autre. Ainsi, notre approche permet d'améliorer l'adéquation entre les besoins de l'agent organisateur et les caractéristiques des agents postulants.

Soulignons que cette méthode n'est efficace que dans le cas d'agents sincères, désireux de travailler ensemble (coopératifs), ne pouvant pas refuser une tâche (bonne volonté).

Un autre intérêt de l'approche multicritère réside dans son caractère modulaire. En effet, le problème du choix d'un partenaire peut être divisé en deux sous-problèmes. Le premier consiste à préciser les besoins de l'organisateur et le second à évaluer les postulants. Une méthode multicritère peut dans ce cadre être considérée comme l'interface permettant de relier au mieux ces deux parties.

Le travail entrepris dans cette étude peut se poursuivre dans deux directions complémentaires : une meilleure représentation des besoins de l'organisateur et l'amélioration des procédures d'évaluation.

Une meilleure représentation des besoins de l'organisateur peut s'obtenir de différentes façons : rechercher de nouveaux critères (par exemple la confiance en l'agent, dans la méthode), affiner les différentes procédures d'attribution des poids et des seuils. L'aspect dynamique est également un point important si nous souhaitons rendre possible l'adéquation entre les besoins de l'organisateur et la procédure de choix. La procédure de choix permet de

trouver une combinaison satisfaisante entre un ensemble de tâches à affecter et un ensemble d'agents possibles. Cet aspect peut également donner lieu à de nouvelles études afin de préciser les besoins de l'agent à ce niveau. Nous avons proposé de tenir compte du niveau de qualité chez l'agent postulant mais, par exemple, il peut être également intéressant de tenir compte des liens entre les tâches.

Il semble que l'introduction de méthodes multicritères en intelligence artificielle puisse permettre à un agent d'améliorer le fondement de ses choix. Dans le cadre de cette étude, nous avons étudié son impact dans le choix d'un agent, mais plus généralement elles peuvent être utilisées dans tous problèmes de choix : choix d'un plan, choix d'une ressource.

Bibliographie

[CAS92] CASTELFRANCHI C., MICELLI M., CESTA A., « Dependence Relations Among Autonomous Agent », in WERNER E., Y. DEMAIZEAU (eds.), *Decentralized A.I.3*. Amsterdam, Elsevier Science Publishers B. V., 1992, pp. 215-227

[CEV92] CEVALLOS RIVAS N., GLEIZES M-P., GLIZE P., PIQUEMAL-BALUARD C., TROUILLET S., « Du Rôle des Agents à la Typologie des Accointances », P.R.C. - G.D.R. Intelligence Artificielle, Journée Systèmes Multi-Agents, Nancy, 1992.

[DAV88] DAVIS R., SMITH R.G. , « Negotiation as a Metaphor for Distributed Problem Solving », in : Bond, A., and Gasser, L. eds. *Readings in Distributed Artificial Intelligence*, 333-356. San Mateo, Calif : Morgan Kaufmann.

[KHE95] KHELIFA S.B., MARTEL JM, Aide multicritère à la décision de groupe : l'approche du surclassement de synthèse, Document de travail 95-19, Direction de la Recherche, Faculté des Sciences de l'Administration, Université Laval, Québec, Canada, 1995

[KHU94] KUHN N., « Comparing Rankings of Heterogeneous Agents in Task Handling Process. », German Research Center for Artificial Intelligence , DFKI 1994.

[MOR94] MORAITIS P., « Paradigme Multi-Agent et Prise de Décision Distribuée », Thèse de doctorat, Université Paris IX Dauphine, 1994

[ROS85] ROSENSCHEIN J.S., GENESERETH M. R., « Deals Among Rational Agents », *Proc. of Ninth IJCAI*, Los Angeles, CA, August. 1985, pp. 91-99.

[ROY93] ROY B., BOUYSSOU D., Méthodologie Multicritère d'Aide à la Décision, Paris ECONOMICA, 1993.

[SIC94a] SICHMAN J., CONTE R., DEMAIZEAU Y., CASTELFRANCHI C., « A Social Reasoning Mechanism Based on Dependence Networks », *ECAI-94*, Amsterdam, August, 1994, pp. 188-192

[SIC94b] SICHMAN J., DEMAIZEAU Y., « A First Attempt To Use Dependence Situations as a Decision Criterion for Choosing Partners in Multi-Agent Systems », *ECAI 94 Workshop : Decision Theory for DAI Applications*, 1994.

[TID92] TIDHAR G., ROSENSCHEIN J. S., « Distributed Ai and Multiagent Systems », *ECAI 1992*.

[VIN89] VINCKE Ph., *L'Aide Multicritère à la Décision*, Edition Ellipse, 1989.

[ZLO91] ZLOTKIN G., ROSENSCHEIN J.S., « Cooperation and Conflict Resolution via Negotiation Among Autonomous Agents in Noncooperative Domains, *IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics*, vol 21, no. 6, November/December, 1991.