

La négociation du bien-être social utilitaire

A. Nongaiard^{*†} P. Mathieu[†] B. Jaumard[‡]
a_nongai@encs.concordia.ca philippe.mathieu@lifl.fr bjaumard@ciise.concordia.ca

^{*} Dep. of Computer Science and Software Engineering

[‡] Institute for Information Systems Engineering
Concordia University, Canada

[†] Laboratoire d'Informatique Fondamentale de Lille
Université des Sciences et Technologies de Lille
Villeneuve d'Ascq, France

Résumé

Le problème d'allocation multi-agents de ressources correspond au partage entre n agents de m ressources afin de maximiser un bien-être social. Il ne s'agit pas dans cet article, comme dans plusieurs travaux précédents, d'unique-ment déterminer l'allocation socialement optimale ou de prouver l'existence d'une séquence de transactions pour y parvenir, mais bien de trouver une séquence opérationnelle entre agents amenant à cet optimum, le tout sur un graphe quelconque. Pour cela, nous étudions différents comportements d'agents afin d'identifier ceux permettant d'atteindre l'allocation optimale souhaitée. Cette dernière peut alors être interprétée comme un phénomène global émergent issu d'interactions locales entre les agents. Après une étude de plusieurs types de transactions, nous montrons que celle que nous nommons "don social", est la plus efficace pour la résolution de l'allocation de ressources associée au bien-être social utilitaire.

Mots-clés : *Système multi-agents, allocation de ressources, négociation, émergence*

Abstract

The multi-agent resource allocation problem corresponds to the negotiation of m resources among n autonomous agents in order to maximize a social welfare. Contrary to some former studies, the purpose is neither here to simply determine a socially optimal resource allocation nor to prove the existence of a transaction sequence leading to this optimum, but to find a practical transaction sequence among agents, based on any type of graph. For this purpose, we study various agent behaviors in order to identify which one leads to the optimal resource allocation required. This optimum can be viewed as a global emergent phenomenon that comes from local interactions among the agents. After a study of different transaction types, we show

that the transaction called "social gift", is the most efficient one for solving the resource allocation problem associated with the utilitarian social welfare.

Keywords: *Multi-Agent system, resource allocation problem, negotiation, emergence*

1 Introduction

Le problème d'allocation multi-agents de ressources, qui est à la frontière entre l'économie et l'informatique, a déjà été largement étudié, que ce soit de manière centralisée ou distribuée. Dans les études basées sur une approche centralisée, les agents révèlent leurs préférences sur les ressources à un commissaire-priseur, qui décide ensuite de l'allocation résultante. Ce dernier est alors le point de centralisation de tels systèmes. Dans ce contexte, [2, 11] ont proposé différents modèles pour plusieurs types d'enchères. Dans les études basées sur des approches distribuées, l'allocation de ressources initiales évolue grâce à des négociations locales entre les agents, sans aucune centralisation.

Le caractère optimal d'une allocation est parfois utilisée avec une certaine confusion dans la littérature. Nous distinguerons les optima suivants.

Optimum global : une allocation de ressources est un optimum global si il n'existe aucune autre allocation de ressources avec une meilleure valeur pour la fonction de bien-être social sélectionnée. Il est indépendant des types de transactions autorisées entre les agents. De plus, alors que la valeur optimale est unique, plusieurs allocations peuvent y correspondre. Cependant, selon les transactions inter-agents utilisées ou l'allocation initiale, il est possible que l'on ne puisse pas atteindre cet optimum global.

Optimum T-global : une allocation de ressources est un optimum T-global si il n'existe

aucune séquence de transactions appartenant à l'ensemble T , qui permet d'atteindre une allocation de ressources associée à un plus grand bien-être social. Une telle allocation est souvent sous-optimale.

Un premier ensemble d'études se concentre sur les propriétés mathématiques relatives au type de transactions considérées. Une classification des transactions de base a été établie ainsi que des résultats théoriques sur l'existence (ou non) d'une séquence de transactions depuis une allocation initiale vers un optimum global dans [10]. Cependant, ces travaux ne fournissent pas de processus pour atteindre une allocation optimale : il ne font qu'en démontrer l'existence. De la même manière, les propriétés mathématiques de certaines classes de fonctions d'utilité et de paiement ont été étudié dans [5] dans le but de concevoir des mécanismes convergents. Dans [6] les critères d'acceptabilité et les propriétés des transactions dans les négociations ont été étudié. Là encore, les mécanismes ne sont pas détaillés.

Dans un second ensemble d'études, les auteurs se sont intéressés à définir de nouveaux comportements d'agents. Certains ont identifié des conditions qui favorisent les transactions équitables [7] et d'autres ont étudié l'absence d'envie dans le processus d'allocation de ressources [3, 4]. A nouveau, aucun de ces travaux ne permet d'explicitier une séquence de transactions acceptables, c'est-à-dire satisfaisant les critères imposés par les agents et permettant d'une allocation de ressources initiales d'atteindre l'optimum T -global. La valeur sociale des allocations finalement atteintes n'est pas comparé à celle de l'optimum global.

Dans cet article, notre approche computationnelle du problème vise à proposer un processus de négociations qui converge en pratique, soit vers l'allocation globalement optimale, ou à défaut, vers une allocation de ressources socialement proche. La section 2 définit les transactions qui sont utilisées dans notre étude et discute des difficultés liées à la convergence du processus de négociation. La section 3 présente le protocole expérimental ainsi que les critères d'évaluation des mécanismes. La section 4 présente finalement la transaction la plus efficace ainsi que l'impact du comportement des agents sur la qualité de la convergence.

1.1 L'allocation de ressources multi-agents

Le problème d'allocation multi-agents de ressources est défini par un ensemble d'agents pouvant négocier localement leurs ressources. Soit $\mathcal{R} = \{r_1, \dots, r_m\}$ l'ensemble des ressources disponibles dans le système multi-agents, initialement distribuées parmi une population de n agents $\mathcal{A} = \{a_1, \dots, a_n\}$. Chaque agent a possède un ensemble initial de ressources, noté \mathcal{R}_a . Les préférences des agents sont représentées par une fonction d'utilité $u_a : \mathcal{R} \rightarrow \mathbb{R}$. Une allocation de ressources o est une répartition de toutes les ressources, et peut être modélisée à partir des ensembles de ressources de chaque agent : $o = [\{\mathcal{R}_1\}, \dots, \{\mathcal{R}_n\}]$. \mathcal{O} est l'ensemble des allocations de ressources possibles.

Une transaction $\delta = (o, o')$ est une paire d'allocations de ressources décrivant l'état du système avant et après la négociation impliquant un sous-ensemble donné d'agents. Cette représentation résume l'état global du système multi-agents à un instant donné. Or un agent ne dispose pas de telles informations : dans ce travail, nous considérons que les agents ne connaissent initialement que leurs propres préférences ainsi que leur liste d'accointances. Un modèle basé sur ces informations locales est alors utilisé. Notons $\mathcal{R}_{a \leftrightarrow a'}$ l'ensemble des ressources échangées entre les agents a et a' au cours d'une transaction. Une transaction initiée par l'agent a , dans laquelle sont impliqués les agents a', a'', \dots peut être représentée de la manière suivante :

$$\delta_a = [\mathcal{R}_{a \leftrightarrow a'}, \mathcal{R}_{a \leftrightarrow a''}, \dots].$$

Notre étude se concentre sur une société homogène d'agents, où toutes les ressources sont supposées être discrètes, non divisibles, non partageables, non consommables et uniques. Ainsi, les ressources ne peuvent être modifiées par les agents mais seulement échangées lors des transactions.

1.2 La topologie

Le réseau d'accointances représente le graphe des relations entre les agents du système : chaque agent a un certain nombre d'accointances avec lesquels il peut négocier. La grande majorité des études repose implicitement sur un graphe d'accointances complet. Un agent peut donc négocier avec n'importe quel autre agent dans le système, ce qui influe très fortement sur le processus d'allocation de ressources.

Cette hypothèse n'est pas réaliste pour de nombreuses applications. Notamment dans le cas d'un réseau social dans lequel un individu spécifique ne connaît à un moment donné tous les autres individus du réseau. Ainsi, il est important de limiter les possibilités de communication à un sous-ensemble d'agents : nous considérons donc dans ce travail qu'un agent ne peut négocier qu'avec les agents de sa liste d'accointances, ce qui définit la notion de voisinage pour un agent. Nous travaillons avec un graphe d'accointances quelconque mais connexe, permettant aussi bien d'utiliser un graphe complet qu'un graphe "petit-monde".

Suivant les transactions autorisées, un mécanisme qui convergerait vers l'allocation socialement optimale dans le cas d'un réseau d'accointances complet, pourrait ne converger que vers une allocation éloignée de l'optimum global. En effet, un graphe d'accointances de faible connexité associé à des transactions restrictives limite la circulation des ressources.

1.3 Le bien-être social

Les notions de bien-être social [1, 9] sont aujourd'hui largement utilisées pour évaluer un système multi-agents de manière globale. Cela s'explique par le fait que ces notions sociales prennent en compte la satisfaction de tous les agents du système. Différentes fonctions peuvent être utilisées pour mesurer le bien-être social mais, dans le cadre de cette étude, nous nous concentrons uniquement sur le bien-être social utilitaire, sans doute la plus utilisée dans la littérature.

Définition 1.3.1 (Bien-être social utilitaire). Le bien-être social utilitaire (social welfare), que nous notons sw_U , est défini comme la somme du bien-être de chaque agent. Pour une allocation de ressources donnée o ,

$$sw_U(o) = \sum_{a \in \mathcal{A}} u_a(\mathcal{R}_a) = \sum_{a \in \mathcal{A}} \sum_{r \in \mathcal{R}_a} u_a(r).$$

Les autres fonctions de la théorie du bien-être social telle que le bien-être social égalitaire, le bien-être élitiste ou encore le produit de Nash ont des propriétés différentes et font l'objet d'autres études. En effet, l'efficacité des mécanismes développés diffère selon la notion de bien-être social considérée.

L'objet de notre travail est donc de proposer un processus opérationnel de transactions de res-

sources entre agents, garantissant l'arrêt des négociations et s'approchant le plus possible d'une allocation socialement optimale quelque soit le graphe d'accointances utilisé.

2 Les transactions

Dans un problème d'allocation multi-agents de ressources, les paiements compensatoires sont habituellement considérés durant les négociations entre les agents. Les autoriser ne permet, du point de vue des agents, que d'élargir l'ensemble des transactions acceptables. Cependant, même si il n'y a pas de création d'argent durant les transactions, on suppose que les agents disposent de suffisamment d'argent pour que les transactions désirées soient toujours possibles. Les questions relatives aux paiements compensatoires dépassent l'objet de notre étude et ne seront pas donc considérées dans la suite de cet article. Nous choisissons ici d'exprimer les préférences des agents par des fonctions d'utilité k -additive [8], et des utilités strictement positives.

2.1 Convergence

D'après Sandholm [10], il existe toujours un chemin de "transactions simples" non rationnelles menant jusqu'à l'optimum global, quelque soit l'allocation de ressources initiale. Notons qu'une transaction est individuellement rationnelle si chaque agent impliqué obtient, à la fin, une utilité supérieure ou égale à celle qu'il avait initialement. Selon sa classification, une transaction simple correspond à l'achat d'une ressource. Néanmoins, l'existence d'un tel chemin ne signifie pas pour autant l'arrêt du processus multi-agents d'allocation de ressources sur cet optimum. En effet, puisque les agents ne sont pas individuellement rationnels, ils n'ont plus de critère particulier leur permettant de distinguer une transaction profitable d'une autre.

Même si l'arrêt du processus d'allocation est garanti, il reste encore à évaluer la qualité de l'allocation atteinte, en comparant sa valeur sociale avec celle de l'optimum global.

2.2 Les critères d'acceptabilité

Pour mener à bien les négociations, des critères d'acceptabilité doivent être appliqués aux comportements des agents. En effet, durant les négociations, la prise de décision d'un agent quant à l'issue d'une transaction en dépend directement.

Ils restreignent grandement l'ensemble des transactions acceptables. Le processus de négociations se termine une fois qu'aucun agent du système n'arrive plus à proposer de transaction acceptable.

Supposons qu'à un moment lors de leurs négociations, l'agent a propose à l'agent b une transaction $\delta = (o, o')$, qui change l'allocation initiale $o = [\dots \mathcal{R}_a \dots \mathcal{R}_b \dots]$ en une nouvelle allocation $o' = [\dots \mathcal{R}'_a \dots \mathcal{R}'_b \dots]$.

Définition 2.2.1 (Agent rationnel). Un agent rationnel est un agent qui ne peut accepter qu'une transaction qui fait augmenter son utilité.

Si l'agent a est rationnel, alors il n'acceptera la transaction que si :

$$u_a(\mathcal{R}'_a) > u_a(\mathcal{R}_a).$$

Ce critère est le plus souvent utilisé, particulièrement dans le cas de système d'agents égoïstes et non coopératifs.

Définition 2.2.2 (Transaction rationnelle). Une transaction rationnelle est une transaction dans laquelle les agents qui y participent sont tous rationnels.

Si une transaction est rationnelle, alors elle ne sera acceptable pour les agents impliqués que si :

$$u_a(\mathcal{R}'_a) > u_a(\mathcal{R}_a) \text{ et } u_b(\mathcal{R}'_b) > u_b(\mathcal{R}_b).$$

Proposition 2.2.1. *Si des transactions rationnelles sont utilisées, alors le processus multi-agents d'allocation de ressources se terminera après une séquence finie de transactions.*

Cependant, les restrictions imposées par critère à l'ensemble des transactions possibles peut rendre l'allocation finalement atteinte sévèrement sous-optimale.

Un autre critère assurant l'arrêt du processus d'allocation de ressources au bout d'un nombre fini de transactions est la sociabilité. Ce critère est basé sur une évaluation locale de la variation du bien-être social considéré.

Définition 2.2.3 (Agent social). Un agent social est un agent qui peut accepter une transaction faisant augmenter le bien-être social considéré.

Définition 2.2.4 (Transaction sociale). Une transaction est dite sociale si elle fait augmenter la fonction de bien-être social considérée. Une

telle transaction ne sera acceptée par les agents que si :

$$sw_U(o') > sw_U(o) \quad o, o' \in \mathcal{O}$$

Afin de déterminer la valeur associée à la notion de bien-être social considérée, il est nécessaire d'avoir une connaissance globale de l'état du système multi-agents : l'utilité de chaque agent est nécessaire. Il est cependant possible, sur la base d'informations disponibles localement, de déterminer la variation de ce bien-être, sans pour autant en déterminer la valeur. En effet, puisque seuls deux agents sont impliqués dans la transaction courante, seuls leurs ensembles de ressources, et donc leurs utilités, sont susceptibles d'évoluer.

2.3 Les différents types de transactions

Comme les paiements compensatoires ne sont pas autorisés, seuls trois types de transactions bilatérales de base sont alors envisageables, les autres étant des combinaisons de ces types de base. Pour illustrer ces transactions bilatérales, considérons le cas où deux agents a et b , possédant respectivement m_a et m_b ressources négociant. L'agent a sera considéré comme l'initiateur de la transaction.

D'abord, *le don* qui est une transaction durant laquelle l'agent initiateur va donner une de ses ressources à l'agent participant. Cette transaction, qui est la plus simple possible, ne peut jamais être rationnelle pour l'agent initiateur (les utilités sont strictement positives) et l'est toujours pour l'agent participant.

Ensuite, *l'échange* est une transaction permettant l'échange d'une unique ressource provenant de chaque agent. C'est une transaction symétrique, i.e. le nombre de ressources par agent ne varie jamais. En effet, un agent possédant m_a ressources au départ aura toujours le même nombre de ressources à la fin. Le nombre d'échanges possibles entre a et b est de $m_a \times m_b$.

Enfin, *l'échange groupé* est une transaction plus complexe durant laquelle deux agents peuvent impliquer un sous-ensemble de leurs ressources. Cette transaction peut être asymétrique pour le nombre de ressources échangées. La transaction échange est un cas particulier de l'échange groupé où chacun des agents n'implique qu'une seule de ses ressources. En revanche le nombre d'échanges groupés possibles pour l'agent initiateur a qui négocie avec l'agent b est de $(2^{m_a} -$

$1) \times (2^{m_b} - 1)$: les ensembles vides ne sont pas considérés.

Ainsi, en associant ces différents types de transactions avec les critères, les échanges suivants peuvent être définis :

- le don social,
- l'échange social,
- l'échange rationnel,
- l'échange groupé social,
- l'échange groupé rationnel.

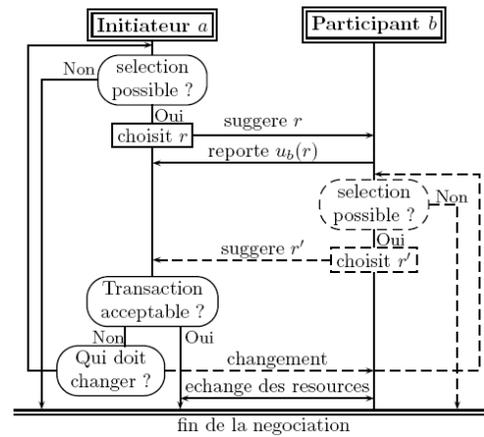


FIG. 1 – Protocole de communication

2.4 Le protocole de communication

Afin de comparer et d'évaluer les différentes transactions, un processus séquentiel de négociations au sein d'un système multi-agents a été développé : un seul agent à la fois peut entamer une négociation. Des négociations parallèles n'affecteraient que la vitesse de convergence, et non pas la qualité de l'allocation finalement obtenus.

L'agent initiateur est choisi aléatoirement parmi ceux du système. Les agents acceptent ou refusent les transactions suivant leur propre critère d'acceptabilité. Le processus de négociations s'arrête lorsque nul agent n'est en mesure de trouver une transaction acceptable dans son voisinage.

Le protocole de communication est décrit dans la figure 1. Dans le cas particulier d'une transaction de type "don", dans laquelle l'agent initiateur donne une ressource sans contre-partie, la partie pointillée de la figure peut être ignoré. L'agent initiateur a sélectionne et propose tout d'abord, une ressource r à son voisin b . Celui-ci lui réponds en communiquant sa préférence pour cette ressource, que ce soit de manière qualitative ou quantitative, ainsi que la ressource qu'il propose s . L'agent initiateur peut alors déterminer si la transaction est acceptable pour les deux agents. Dans ce cas, l'échange prévu est effectué, sinon il détermine qui doit changer son offre, et proposer autre chose. Par exemple, dans le cas où l'agent impliqué répond par des préférences quantitatives, ce test peut être basé sur la comparaison entre ce qu'ils reçoivent et donnent : $u_a(r) - u_a(s) >? u_b(r) - u_b(s)$. Si un des agents ne peut changer son offre, alors la négociation s'arrête.

3 Les expérimentations

3.1 Le protocole expérimental

Les expérimentations ont été réalisées sur des systèmes multi-agents de taille très variées. Pour chacune d'elles, différents types de réseaux d'accointances ont été créés, certains complets et d'autres aléatoires. Pour chacune de ces configurations, de nombreux systèmes multi-agents ont été générés. Pour chaque ensemble de fonctions d'utilité, 100 jeux de données ont été exécutées à partir d'allocations de ressources initiales différentes, permettant ainsi de tester la robustesse des processus quant aux optima locaux.

Pour chaque négociation, l'agent initiateur est défini aléatoirement. Il trie toujours son ensemble de ressources de manière croissante, en accord avec ses préférences. On suppose que les agents, même s'ils ne sont pas rationnels, cherchent toujours à échanger les ressources qui ont le moins de valeur pour eux : chaque agent essaiera donc de donner la ressource associée à l'utilité la plus faible en premier lieu. Par défaut, le comportement des agents sera fugace et figé : un agent cherchera à négocier avec un seul voisin préalablement sélectionné, mais ils seront prêt à faire des concessions en changeant si besoin est la ressource qu'ils impliquent.

L'évaluation du caractère optimal de l'allocation de ressources finalement atteinte reste difficile : il faut évaluer la distance entre l'optimum global social et l'allocation finalement atteinte à la fin des négociations.

A l'aide d'un outil d'optimisation centralisé, il est possible de déterminer la valeur du bien-être

social associée à une allocation de ressources optimale. Cette valeur servira de référence pour comparer et évaluer nos résultats émergeant de l'ensemble du processus de négociations.

3.2 Les critères d'évaluation

Un protocole d'évaluation prenant en compte à la fois la complexité computationnelle et la complexité communicationnelle doit être défini afin de comparer les différentes transactions utilisées.

Le nombre de transactions réalisées : un processus de négociations usant de transactions rationnelles, par exemple, se terminent plus vite qu'un processus usant de transactions sociales.

Le nombre de ressources échangées : certaines transactions autorisent l'implication de plusieurs ressources de la part de chacun des agents, comme lors d'un échange groupé, alors que certaines ne l'autorisent pas, comme le don. Partant d'une même allocation de ressources, il faudra plusieurs dons pour arriver à une allocation où une seule transaction groupée aurait suffi.

Le nombre de tours de parole : cette mesure correspond au nombre de fois où un agent lance des négociations. Associé au nombre de transactions effectuées, il est possible de déterminer le nombre de fois où les négociations ont débouché sur une impasse, i.e., sans transaction effectuée.

Le nombre de transactions essayées : Durant une négociation utilisant des échanges groupés, le nombre de transactions qui peuvent être proposées est potentiellement beaucoup plus grand que durant une négociation utilisant des dons.

3.3 Analyse des résultats

Nous présentons ici une synthèse de toutes les expérimentations réalisées. Les résultats relatifs au cas où le réseau d'acointances est complet sont présentés dans un premier temps, ensuite les résultats obtenus avec des réseaux d'acointances aléatoires, dans lesquels chaque agent un nombre moyen de $n/2$ voisins. La taille des jeux de données utilisées est caractérisée par un couple $n - m$, où n est le nombre d'agents, et m , le nombre total de ressources uniformément distribuées parmi ces agents.

TAB. 1 – Ecart(%) dans un réseau d'acointances complet

n-m	Social			Rationnel	
	Don	Echange	EG	Echange	EG
50-500	0	0.94	0.96	2.15	6.71
100-1000	0	0.76	0.76	1.53	4.9
150-1500	0	0.65	0.71	1.31	3.9
200-2000	0	0.56	0.60	1.15	2.5

Considérons le cas du réseau d'acointances complet dans un premier temps, pour lesquels les résultats sont regroupés dans la table 1. Le don social est la seule transaction capable d'atteindre à chaque fois un optimum global. Même si les négociations utilisant d'autres transactions ne peuvent l'atteindre, l'écart entre l'allocation finalement atteinte et l'optimum global reste relativement faible : il est donc possible d'atteindre une allocation de ressources ayant une valeur sociale proche de celle de l'optimum global. Les négociations utilisant des transactions rationnelles s'arrêtent à des valeurs sociales plus éloignées du fait du caractère plus restrictif des transactions utilisées. La taille des jeux de données n'est pas un facteur très influant sur la qualité de l'allocation finale.

La figure 2 montre le nombre de transactions effectuées selon la taille des jeux de données et le type de transactions autorisées. Les transactions effectuées par des agents rationnels permettent un arrêt plus rapide des négociations que celles réalisées par des agents sociaux. La figure 3 montre le nombre de ressources échangées durant les négociations. Les transactions sociales permettent l'échange d'un nombre plus important de ressources, cependant la différence n'est pas très marquée. La figure 4 montre l'évolution du nombre de tours de parole selon le type de transactions utilisées et la taille des jeux de données. On peut voir que le nombre de tours de parole varie assez peu quelque soit le type de transaction considérée. La figure 5 montre l'évolution du nombre de transactions tentées durant les négociations. On remarque notamment que l'emploi des échanges groupés entraîne un nombre bien plus important de transactions tentées.

Considérons maintenant le cas du réseau aléatoire d'acointances, pour lesquels les résultats sont regroupés dans la table 2.

Le réseau d'acointances en lui-même a un énorme impact sur le résultat puisque, selon les transactions utilisées, il limite plus ou moins la

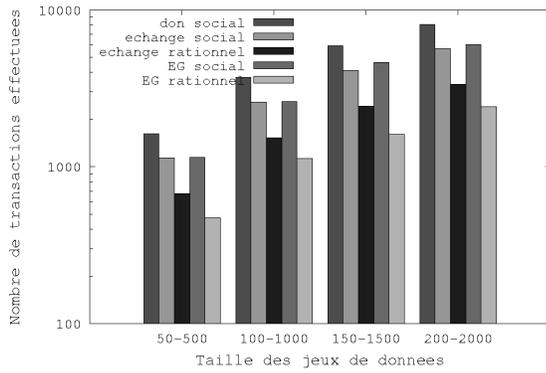


FIG. 2 – Comparaison des comportements suivant le nombre de transactions effectuées

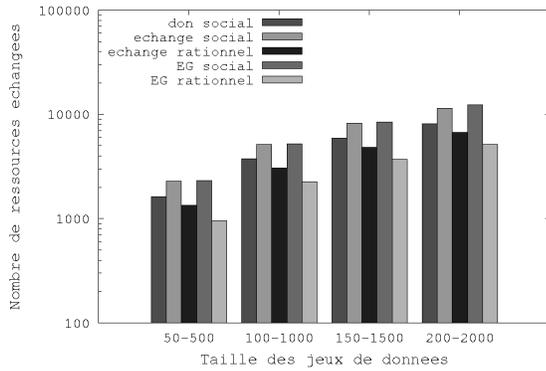


FIG. 3 – Comparaison des comportements suivant le nombre de ressources échangées

circulation des ressources. Lors des expérimentations, l'allocation optimale n'est que très rarement atteinte. L'écart avec la solution optimale la plus faible est toujours obtenu par le don social qui fournit la meilleure allocation de ressources. Les transactions plus fortement contraintes atteignent de plus faible valeur sociale. Cependant, plus la connexité du réseau d'acointances est faible et plus l'écart observé sera important. De même, l'écart-type entre les valeurs sociales atteintes en fin de négociations est plus importante que dans le cas d'un réseau complet.

TAB. 2 – Ecart(%) dans un réseau aléatoire d'acointances

n-m	Social			Rationnel	
	Don	Echange	EG	Echange	EG
50-500	1.3	3.41	3.4	6.05	5.88
100-1000	0.73	1.88	1.72	3.63	3.59
150-1500	0.43	1.3	1.35	2.69	2.42
200-2000	0.31	1.22	1.02	2.3	2.05

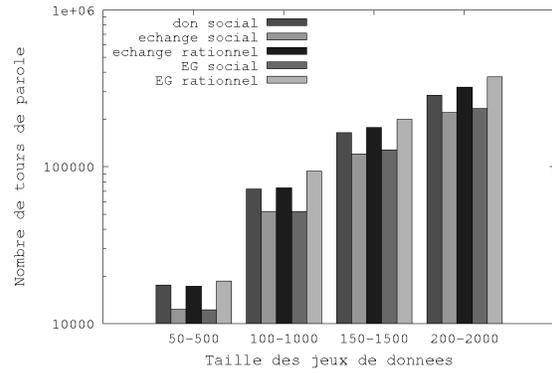


FIG. 4 – Comparaison des comportements suivant le nombre de tours de parole

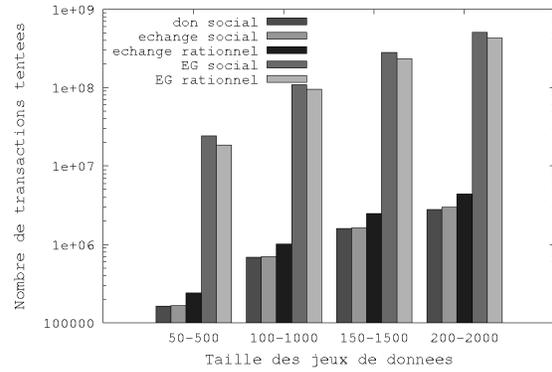


FIG. 5 – Comparaison des comportements suivant le nombre de transactions tentées

4 Le Don Social

4.1 Variantes du comportement des agents

Le comportement des agents durant les négociations peut avoir un impact important sur la qualité de la convergence. Pour en montrer l'influence, nous allons utiliser le don social sur un réseau d'acointances complet. Si l'agent initiateur et l'agent participant trouvent un consensus, la transaction est effectuée, sinon, différentes tâches sont alors envisageables pour l'agent initiateur :

- mettre un terme aux négociations,
- choisir une autre ressource à proposer au même agent,
- choisir un autre voisin à qui proposer la même ressource.

A partir de cet ensemble d'alternatives, quatre comportements différents peuvent être définis. Dans chacun d'eux, l'agent initiateur donne une seule ressource à l'agent participant sélectionné dans le voisinage, selon la définition du don social décrit à la section 2.3. Après l'identification d'une transaction acceptable ou la fin de la né-

TAB. 3 – Comportement “A”

Tri de mon ensemble de ressources
Sélection aléatoire d’une accointance a
Sélection de ma ressource r de plus faible utilité
Si la transaction est acceptable
Donner r à a
Mettre fin à la négociation

TAB. 4 – Comportement “B”

Tri de mon ensemble de ressources
Sélection aléatoire d’une accointance a
Pour chaque ressource r de son ensemble
Si la transaction est acceptable
Donner r à a
Mettre fin à la négociation

gociation, un nouvel agent initiateur est choisi.

D’abord, le comportement “A”, qui est décrit dans la table 3, selon lequel l’agent initiateur a sélectionne aléatoirement un de ses voisins et essaie de donner la ressource qu’il associe à sa plus faible utilité. Si un accord n’est pas trouvé de suite, alors l’agent initiateur met fin à la négociation.

Si l’agent initiateur adopte un comportement “B” comme décrit dans la table 4, il sélectionne une de ses accointances et négocie ses ressources en commençant par celle qui a l’utilité la plus faible et en l’augmentant progressivement. Si, après avoir proposé toutes ses ressources, aucune ne permet de trouver une transaction acceptable, alors la négociation s’arrête.

La table 5 décrit le comportement “C” que peut adopter l’agent initiateur, dans lequel il essaie de négocier uniquement sa ressource associé à la plus faible utilité mais avec toutes ses accointances. Pour éviter un biais important dû à une sélection séquentielle des agents impliqués, on applique une permutation aléatoire de la liste d’accointances. Si aucun des voisins n’attribue une plus grande utilité à la ressource proposée que celle de l’agent initiateur, alors la négociation prend fin.

Finalement, avec le comportement “D”, décrit dans la table 6, l’agent initiateur négocie toutes ses ressources dans l’ordre, mais en essayant tous les voisins pour chacune d’elles. La même technique est utilisée pour éviter le biais d’une

TAB. 5 – Comportement “C”

Tri de mon ensemble de ressources
Sélection de ma ressource r de plus faible utilité
Pour chacune de mes accointances a
Si la transaction est acceptable
Donner r à a
Mettre fin à la négociation

TAB. 6 – Comportement “D”

Tri de mon ensemble de ressources
Pour chaque ressource r de mon ensemble
Pour chacune des mes accointances a
Si la transaction est acceptable
Donner r à a
Mettre fin à la négociation

sélection séquentielle des voisins. Après avoir essayé toutes ses ressources avec toutes ses accointances, il met fin à la négociation.

4.2 Performances des comportements

Ces différents comportements ont été évalués en utilisant les critères définis à la section 3.2. Pour s’affranchir de l’influence du réseau d’accointances, les expériences suivantes s’appuient sur un réseau complètement connecté. Le protocole expérimental reste similaire à celui décrit précédemment. Les comportements “A” et “C” ne sont jamais capables d’atteindre l’allocation de ressources correspondant à l’optimum global. Cependant, la distance entre cet optimum et l’allocation atteinte reste toujours inférieur à 2.15%. L’écart-type entre les différentes allocations obtenues reste très faible également, inférieur à 0.2% dans tous les cas.

Les comportements “B” et “D”, qui correspondent aux comportements fugace et donc qui peuvent changer la ressource impliquée, atteignent quant à eux toujours une allocation de ressources correspondant à un optimum global.

TAB. 7 – Ecart(%) suivant les comportements

n-m	A	B	C	D
50-500	1.2	0	1.1	0
100-1000	0.5	0	0.5	0
150-1500	0.3	0	0.3	0
200-2000	0.2	0	0.2	0

En pratique ils ont d'aussi bons résultats l'un que l'autre, mais en théorie, la convergence vers l'optimum global ne peut être prouvée que dans le cas du comportement "D". Il est possible de créer un cas d'étude où le comportement "B" n'arrivera pas à atteindre l'optimum global. En revanche, cette garantie a un coût que l'on peut voir sur les figures 6, 7 et 8, qui permettent de comparer les différents comportements suivants plusieurs critères comme le nombre de transactions effectuées, le nombre de tours de parole, ou encore le nombre de transactions essayées.

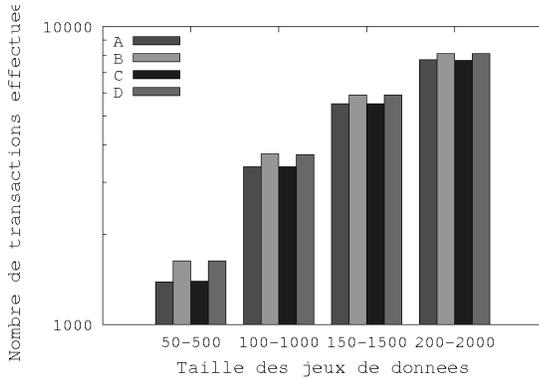


FIG. 6 – Comparaison des comportements suivant le nombre de transactions effectuées

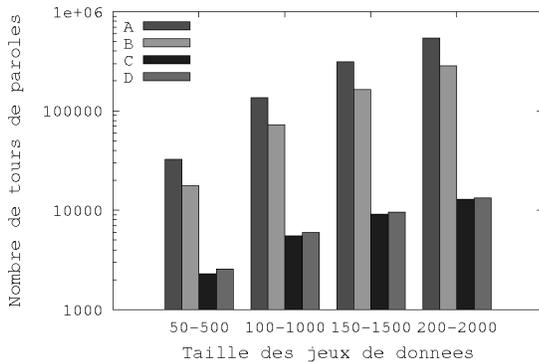


FIG. 7 – Comparaison des comportements suivant le nombre de tours de parole

Le nombre de transactions réellement effectuées ne varie pas sensiblement d'un cas à l'autre. En revanche, le nombre de tours de parole est beaucoup plus élevé pour les comportements figés, où l'on se focalise sur un seul agent. Les comportements "C" et "D", qui sont volatile et donc peuvent profiter de la liste d'accointances durant leurs négociations ont un nombre de tours de parole très faible. On peut également constater que le comportement "D" est plus coûteux que les autres en nombre de transactions essayées, ce qui vient du fait qu'il est à la fois fugace et volatile.

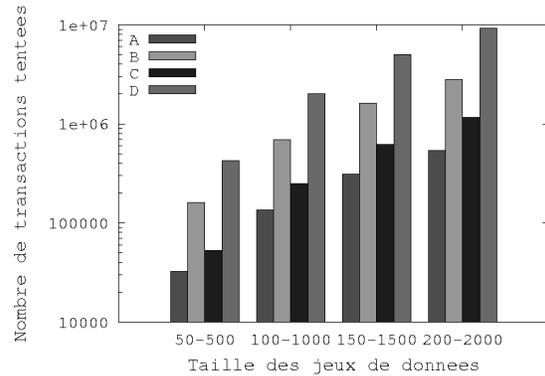


FIG. 8 – Comparaison des comportements suivant le nombre de transactions essayées

En termes de temps de calcul, le comportement "D" est beaucoup plus coûteux que le comportement "B", ce qui rend le processus de négociations beaucoup plus lent dans le premier cas. Comme les résultats obtenus sont de même qualité dans un cas comme dans l'autre, l'utilisation du comportement "B" serait donc plus judicieuse.

4.3 Convergence du don social

L'utilisation du don social lors du processus de négociations garantit l'arrêt des négociations sur une allocation spécifique en un nombre fini de tours de parole.

Une transaction entre deux agents ne peut avoir lieu que si elle augmente strictement le bien-être social de la population. Dans le pire des cas, une ressource peut-être échangée $n - 1$ fois, où n est le nombre d'agents. La ressource en question est toujours donnée à une des accointances qui lui attribue une utilité plus élevée que celle de l'agent initiateur. Par conséquent, une ressource ne peut pas être échangée plus qu'il n'y a d'agents dans le système. Avec m ressources présentes dans le système, la borne supérieure sur le nombre de transactions avant l'arrêt des négociations est $m \times (n - 1)$.

4.4 Les limites du système

La figure 9 montre l'impact du nombre de ressources par agent et du nombre d'agents sur le temps de convergence du processus multi-agents d'allocation de ressources. Un système peuplé de 500 agents possédant chacun 200 ressources (donc 10000 ressources disponibles au total dans le système) convergera en moins de 80 secondes. Le temps de convergence semble évoluer quasi-linéairement.

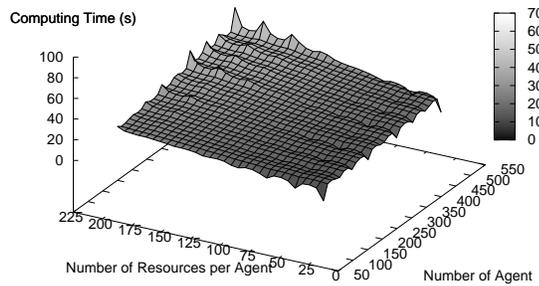


FIG. 9 – Temps de calcul vs Nombre de ressources par agent vs nombre d’agents

Ces temps de convergence sont obtenus quand un seul agent à la fois peut initier des négociations. Un système dans lequel plusieurs agents initiateurs seraient éligibles convergerait bien plus vite. Dans un système où il y a des centaines voire des milliers d’agents, cette hypothèse est tout à fait plausible, mais certaines restrictions pourraient s’appliquer : une même ressource ne doit pas être impliquée dans plusieurs transactions à la fois pour des raisons de cohérence. La méthode la plus simple étant de rendre les voisinages des agents initiateurs disjoints afin qu’un agent ne puisse être impliqué dans plusieurs transactions à la fois. Remarquons tout de même qu’il n’y aurait pas de problème pour une transaction de type “don”.

5 Conclusion

Dans ce papier, nous avons conçu un processus de négociations qui est utilisable en pratique grâce à une approche décentralisée, orientée agent et à l’intégration de la notion de réseau d’acointances. Quand ce processus est basé sur le don social, il s’arrête toujours sur une allocation socialement optimale dans le cas d’un réseau d’acointances complet. Dans le cas de réseau partiel, ce type d’échange mène parfois à un optimum local, mais reste là encore le plus efficace pour s’approcher de la meilleure solution.

Il est de plus adaptable : l’ajout de nouveaux agents est possible au cours du processus de négociations sans remettre en cause la qualité finalement obtenue. Le mécanisme proposé est de plus un algorithme de type “any-time” : la qualité de la solution s’accroît avec le temps et peut être interrompu en tout temps.

Le processus décrit ici permet la résolution

du problème d’allocation multi-agents de ressources dans le cadre du bien-être social utilitaire. En revanche, il n’est pas adapté aux autres notions du bien-être social que sont le bien-être social égalitaire ou encore le produit de Nash. De nouveaux processus décentralisés et utilisables en pratique doivent être conçus spécialement pour ces notions.

Références

- [1] K.J. Arrow. *Social Choice and Individual Values*. Yale University Press, 1963.
- [2] M-J. Bellosta, S. Kornman, and D. Vanderpooten. An agent-based mechanism for autonomous multiple criteria auctions. In *IAT’06*, pages 587–594, China, Hong-Kong, December 2006.
- [3] S. Bouveret and J. Lang. Efficiency and envy-freeness in fair division of indivisible goods : logical representation and complexity. In *IJCAI’05*, pages 935–940, UK, Scotland, Edinburgh, July 2005.
- [4] Y. Chevaleyre, U. Endriss, S. Estivie, and N. Maudet. Reaching envy-free states in distributed negotiation settings. In *IJCAI’07*, pages 1239–1244, India, Hyderabad, January 6-12 2007. AAAI Press.
- [5] Y. Chevaleyre, U. Endriss, J. Lang, and N. Maudet. Negotiating over small bundles of resources. In *AAMAS’05*, pages 296–302, EU, The Netherlands, Utrecht, July 25-29 2005. ACM Press.
- [6] U. Endriss, N. Maudet, F. Sadri, and F. Toni. Negotiating socially optimal allocations of resources. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 25 :315–348, 2006.
- [7] S. Estivie, Y. Chevaleyre, U. Endriss, and N. Maudet. How equitable is rational negotiation ? In *AAMAS’06*, pages 866–873, Japan, Hakodate, May 8-12 2006. ACM Press.
- [8] P. Miranda, M. Grabisch, and P. Gil. Axiomatic structure of k-additive capacities. *Mathematical Social Sciences*, 49 :153–178, 2005.
- [9] H. Moulin. *Axioms of cooperative decision making*. Cambridge University Press, 1988.
- [10] T.W. Sandholm. Contract types for satisficing task allocation : I theoretical results. In *AAAI Spring Symposium : Satisficing Models*, USA, California, Stanford University, March 23-25 1998.

- [11] T.W. Sandholm. eMediator : A Next Generation Electronic Commerce Server. *Computational Intelligence*, 18(4) :656–676, 2002.