

Médiation équitable dans un environnement ouvert d'agents compétitifs

Fair mediation among competitive agents in an open environment

P. Lamarre*

Philippe.Lamarre@irin.univ-nantes.fr

S. Cazalens*

Sylvie.Cazalens@irin.univ-nantes.fr

*Institut de Recherche en Informatique de Nantes (IRIN)
2, rue de la Houssinière BP92208
F44322 Nantes cédex 3 – FRANCE

Résumé :

Nous présentons un modèle de médiation entre plusieurs agents fournisseurs capables de répondre à la requête d'un utilisateur. Les mécanismes classiques de «match-making» n'utilisent que les déclarations de capacités des fournisseurs. L'objectif est de prendre aussi en compte la qualité des agents fournisseurs, ainsi que leurs préférences pour certaines requêtes. Ces dernières sont représentées par des offres monétaires, qui peuvent être négatives si l'agent ne désire pas traiter la requête. Le modèle de micro-économie présenté permet de sélectionner n fournisseurs en respectant un rapport entre qualité et préférence. Le coût d'une réquisition est supporté par l'ensemble des fournisseurs.

Mots-clés : Systèmes multi-agents, agents intermédiaires, médiation, enchères, réquisitions, équité

Abstract:

In this paper, a model of fair mediation is presented. Classical matchmaking mechanisms only take into account capabilities descriptions made by providers. Their result is a set of providers which are able to answer the requester's query. Our goal is to also take into account providers' quality and their preferences for particular queries. The preferences are modelled as bids made by providers. Bids may be negative if the provider does not want to receive a query. In this micro-economic model, selection of n providers is obtained through a balance between quality and bids. The cost relative to the requisition of some provider is shared by all the providers.

Keywords: Multiagent systems, middle agents, mediation, auctions, imposition, fairness

1 Introduction

Dans les systèmes multi-agents, la recherche efficace d'agents qui sont capables de résoudre un problème donné se pose à des degrés divers d'importance. Dépendant du type de société et d'applications, différentes solutions ont été proposées. L'une d'entre elles consiste à utiliser un agent intermédiaire (middle agent) [2] entre des agents utilisateurs et des agents fournisseurs. Étant donnée la requête d'un utilisateur, l'agent intermédiaire est chargé de trouver des agents fournisseurs compétents pour traiter cette requête. Cette approche est souvent utilisée dans des applications où les agents évoluent en environnement ouvert¹ et qu'il leur faut trou-

¹Dans un environnement ouvert, des agents peuvent apparaître, disparaître ou évoluer indépendamment les uns des autres. Aucun organe de régulation n'est présent dans le système.

ver des fournisseurs qui ont les informations ou proposent les services adaptés à leur problème.

A notre connaissance, la plupart des agents intermédiaires actuels sont uniquement basés sur des mécanismes d'appariement (matchmaking) entre requêtes d'utilisateurs et déclarations de capacités effectuées par les fournisseurs. Étant donnée une requête, ces mécanismes permettent de sélectionner, efficacement, un certain nombre d'agents «candidats» qui ont les capacités requises pour la traiter. Cependant, la sélection finale d'un ou plusieurs agents parmi les candidats est faite aléatoirement, ou sur des critères de charge², ou laissée au choix de l'agent utilisateur.

Cependant, il existe souvent d'autres éléments pour départager les candidats. Dans le cas d'agents fournisseurs d'informations ou plus généralement de services, les structures (entreprises, universités, gouvernements, individus...) mettant à disposition des ressources ont des objectifs spécifiques, par exemple, que celles-ci soient utilisées souvent ou dans certains cas précis. Cet intérêt peut être financier (entreprise) ou reflétant un désir de notoriété, etc. Le concept de service n'est pas suffisant pour prendre en compte les objectifs des organisations alors que celui d'agent, en tant que représentant des services et des organisations, est tout à fait adapté. Un agent peut, en effet, mettre en œuvre une politique particulière. Ainsi, deux services similaires peuvent être proposés par des organisations différentes, avec des objectifs différents. C'est à l'agent fournisseur de faire en sorte que le service qu'il représente soit utilisé dans des conditions correspondant au mieux aux raisons qui ont conduit à la proposition de ce service. Pour cela, il met en œuvre des stratégies tenant compte de son environnement et des autres agents avec lesquels il est susceptible d'entrer en concurrence de façon à atteindre ses objectifs. En conclusion, les objectifs des agents induisent un premier élément de discrimination entre les agents candidats au traitement d'une

²lorsqu'il y a un seul intermédiaire et qu'il a connaissance de la charge des agents fournisseurs.

requête.

Du point de vue des utilisateurs, parmi les agents fournisseurs candidats, il est préférable de choisir le plus performant pour traiter la requête. Par exemple, parmi deux agents ayant la capacité de fournir des informations et conseils juridiques, l'un peut le faire mieux que l'autre en ce qui concerne une question particulière relative par exemple à la façon de traiter un différend avec un commerçant. Nous dirons que les deux agents ne sont pas de même qualité vis à vis de la requête. Dans le domaine des agents, la notion de qualité peut vêtir différentes acceptations. Elle a aussi des liens forts avec celles de réputation et de confiance. Elle peut être acquise de différentes façons, mais dans cet article nous supposons que cette information est donnée. On pourra se référer à [5] pour un état de l'art sur les différentes notions de réputation. La qualité constitue un autre élément de discrimination lors du processus de choix des agents fournisseurs.

Les travaux présentés dans cet article visent à prendre en compte les deux éléments décrits précédemment pour départager des agents fournisseurs ayant les capacités de répondre à une requête. Nous représentons la qualité d'un agent par une mesure. Pour que les objectifs des agents fournisseurs soient pris en compte, nous avons choisi de leur faire exprimer des *préférences* sur les requêtes qui parviennent à l'agent intermédiaire. Autrement dit, les fournisseurs traduisent leurs objectifs en termes de préférences sur les requêtes. Les fournisseurs étant dans une situation de compétition, ces préférences prennent la forme «d'offres monétaires». Il est alors possible d'utiliser un modèle de micro-économie semblable à celui des ventes aux enchères que les échanges soient des transactions monétaires réelles ou non. L'offre que fait un agent fournisseur pour être associé à une requête peut être fonction de son espérance de gain par rapport au traitement de cette requête. Son gain peut être financier, si l'agent utilisateur finance le traitement de la requête, qualitatif, si la qualité est obtenue par réputation et qu'il considère pouvoir répondre correctement, ou enfin stratégique, si le fournisseur cherche par exemple à entrer en relation avec l'agent utilisateur.

Cependant, autoriser les agents à exprimer leurs préférences ne doit pas faire oublier l'objectif initial qui est de répondre à une requête. Un problème peut en effet survenir si aucun agent ne désire être affecté à une requête particulière. Dans ce cas, plutôt que de procéder à un tirage aléatoire des agents auxquels cette requête sera

imposée, nous préférons mettre en place un processus de réquisition équitable. L'équité vient du fait que l'agent auquel la requête est affectée n'est pas le seul à supporter le coût du traitement, mais qu'une contribution est demandée à chacun.

Dans cet article nous proposons un modèle prenant en compte à la fois la qualité et les préférences des agents, tout en assurant une réquisition équitable en cas de pénurie. Ceci permet de mettre en œuvre un véritable processus de médiation³ entre les aspirations des fournisseurs, via leurs préférences, et les besoins des utilisateurs, via la qualité. Étant donnée une requête, le travail de l'agent intermédiaire comprend donc deux temps distincts. Dans le premier, sur la base des déclarations de capacités, il sélectionne un certain nombre d'agents fournisseurs candidats. Dans le deuxième, sur la base de la qualité et des préférences, il met en œuvre une médiation équitable. Le modèle proposé dans cet article concerne la seconde phase.

La section 2 définit précisément le problème, pour lequel nous présentons une solution dans la section 3. La section 3.1 définit un ordre sur les agents fournisseurs capables de traiter une requête, en tenant compte de la qualité et des préférences. Les n meilleurs sont alors sélectionnés. La section 3.2 définit ce que les agents doivent payer ou recevoir. Nous situons notre travail par rapport à d'autres travaux liés dans la section 4 avant de conclure.

2 Notations, définition du problème

Dans notre modèle, les agents fournisseurs sont appelés *ouvriers* car leur rôle au final est de réaliser un travail particulier demandé par la requête. L'ensemble des ouvriers est noté \mathcal{W} . Nous notons \mathcal{U} l'ensemble des agents utilisateurs. Présentée informellement, la médiation peut être vue comme le problème suivant : étant donnée une requête et un certain nombre d'ouvriers ayant les capacités de traiter la requête, il faut sélectionner certains de ces agents, sur la base des préférences exprimées par chaque ouvrier et de la qualité estimée de chacun. Cette sélection sera alors envoyée à l'agent utilisateur. Soulignons que nous ne nous limitons pas à la sélection d'un seul ouvrier, car, dans le cas d'une recherche d'informations par exemple, l'utilisateur peut vouloir consulter plusieurs sources.

³Le terme est à considérer dans son sens de tous les jours, comme entremise destinée à parvenir à un accord (définition du petit Larousse), et non pas dans celui spécifique au domaine des bases de données.

Nous utilisons une hypothèse simplificatrice : une requête représente une «unité» de travail appelée *tâche*. Le fait que la demande initiale d'un utilisateur puisse représenter plusieurs tâches n'est pas considéré ici. L'ensemble des tâches est noté \mathcal{T} .

Dans ce contexte, il est possible de définir la requête d'un agent utilisateur de la manière suivante :

Définition 1 Une requête exprimée par un agent utilisateur est un n -uplet $\langle a, t, n \rangle$ tel que :

- $a \in \mathcal{U}$ est l'agent émettant la requête,
- $t \in \mathcal{T}$ est la description de ce que l'agent utilisateur souhaite voir réalisé.
- n est un entier positif : c'est le nombre d'agents ouvriers de la part desquels l'agent utilisateur souhaite avoir une proposition pour la réalisation de t .

L'ensemble des requêtes est noté $\mathcal{R} = \{\langle a, t, n \rangle : a \in \mathcal{U}, t \in \mathcal{T}, n \geq 0\}$. Étant donnée une requête r , décrivant une tâche t^4 , on note \mathcal{W}_t (et par extension \mathcal{W}_r) l'ensemble des agents ouvriers ayant la capacité de traiter la tâche t .

Comme indiqué précédemment, le problème de l'obtention de la qualité des agents n'est pas un sujet abordé dans cet article. Nous supposons donc que cette information est donnée par une fonction :

$$q : \mathcal{W} \times \mathcal{T} \rightarrow \mathbb{R}^+.$$

Par exemple, la table 1 indique, pour chacun des dix ouvriers capables de traiter la requête, sa qualité estimée (par l'agent intermédiaire) vis-à-vis de la tâche t d'une requête r .

	o_1	o_2	o_3	o_4	o_5	o_6	o_7	o_8	o_9	o_{10}
$q(o, r.t)$	8	2	3	1	1	10	8	20	0	10

TAB. 1 – Exemple de qualités pour une requête donnée et 10 ouvriers

Enfin, pour prendre en compte les préférences des ouvriers, nous leur donnons la possibilité de faire des offres sur les requêtes. Cette offre dépend bien sûr de la tâche à réaliser et de ce que l'ouvrier souhaite faire. Une offre monétaire positive indique que l'agent désire traiter la requête, et ce d'autant plus que l'offre est élevée. Inversement, une offre monétaire négative

indique que l'ouvrier ne désire pas traiter la requête ; la valeur absolue du montant proposé représente alors une évaluation du coût de la réquisition de l'ouvrier pour effectuer le traitement de la requête. Nous représentons donc les offres d'un ouvrier o quelconque par une fonction qui associe à chaque requête r une valeur dans \mathbb{R} :

$$off_o : \mathcal{R} \rightarrow \mathbb{R}$$

La table 2 représente les offres faites par les 10 ouvriers précédents sur la requête r . On notera en particulier que o_6, o_7, o_8 ne veulent pas traiter la requête.

	o_1	o_2	o_3	o_4	o_5	o_6	o_7	o_8	o_9	o_{10}
$off_o(r)$	2	10	2	5	1	-3	-4	-8	1	1

TAB. 2 – Exemple d'offres par des ouvriers pour être associés à une requête r .

Nous supposons que les valeurs des qualités (respectivement des offres) sont comparables entre elles, mais pas nécessairement bornées.

Avec ces notations, étant donnée une requête r , le problème de la médiation consiste à trouver $r.n$ agents appartenant à \mathcal{W}_r en fonction d'un critère qui prenne en compte à la fois $q(o, t)$, $o \in \mathcal{W}_r$ et $off_o(r)$, $o \in \mathcal{W}_r$. Le processus présenté propose une solution à ce problème.

3 Processus de médiation équitable

Dans une vente aux enchères classique, le commissaire priseur doit déterminer d'une part qui est le gagnant et d'autre part quel est le montant à facturer au gagnant. Ces deux étapes se retrouvent clairement dans la vente aux enchères Vickrey où le gagnant est celui qui a fait l'offre la plus élevée, et où il est «seulement» facturé de la 2e offre la plus élevée.

Nous retrouvons des étapes similaires dans le processus proposé. Étant donnée une requête r , la première consiste à déterminer quels sont les $r.n$ «meilleurs» ouvriers sélectionnés (et non plus un seul). La deuxième consiste à déterminer le montant des différentes factures. Il ne s'agit cependant pas d'un processus de vente aux enchères proprement dit. En effet, la détermination des $r.n$ meilleurs agents prend non seulement en compte les offres des ouvriers, mais également leur qualité. De plus, il faut prendre en compte les offres négatives et mettre en place un processus de réquisition. De même, le mode de facturation est plus complexe s'il y a réquisition.

⁴Cette tâche sera notée $r.t$, de même que le nombre d'agents dont on attend une réponse sera désigné par $r.n$. Le préfixe r sera omis lorsqu'il n'y a pas d'ambiguïté.

3.1 Sélection des n ouvriers

L'idée est de prendre les n «meilleurs», en tenant compte à la fois de la qualité des ouvriers et de leurs offres. Pour cela, nous définissons dans un premier temps le niveau d'un ouvrier o par rapport à une requête r , noté $niv(o, r)$. Ce dernier permet alors de définir un ordre total entre les ouvriers, et ainsi de sélectionner les n meilleurs ouvriers selon leur rang, défini par cet ordre.

Le niveau atteint par l'ouvrier pour répondre à la requête r est une fonction définie par l'agent intermédiaire, fonction à la fois de sa qualité et de son offre :

Définition 2 $\forall o \in \mathcal{W}_r, niv(o, r) =$

$$\begin{cases} (off_o(r) + \varepsilon)^\omega \times (q(o, r, t) + \varepsilon)^{1-\omega} & \text{si } off_o(r) \geq 0 \\ -(-off_o(r) + \varepsilon)^\omega \times \left(\frac{1}{q(o, r, t) + \varepsilon}\right)^{1-\omega} & \text{sinon.} \end{cases}$$
avec
- $\varepsilon \in \mathbb{R}, \varepsilon > 0$
- $\omega \in [0..1]$.

Les formules proposées combinent offre et qualité de l'ouvrier en assurant un certain équilibre entre les deux, équilibre qui est défini par le réel $\omega \in [0..1]$. En quelque sorte, ω traduit l'importance qu'accorde l'agent intermédiaire à la qualité des ouvriers ou à leurs préférences. En particulier, si $\omega = 0$ l'agent intermédiaire fait totalement prévaloir la qualité de l'ouvrier. A contrario, si $\omega = 1$ l'agent intermédiaire ne tient compte que du montant de l'offre de l'ouvrier.

Le paramètre ε est présent pour des raisons techniques, pour éviter que les offres nulles ne ramène le rang à zéro quel que soit la qualité. Dans la pratique, ce nombre est généralement égal à 1.

Notons que de cette définition, il est possible de déduire la formule plus condensée suivante pour caractériser le niveau d'un ouvrier :

Proposition 1

$niv(o, r) = p (p \times off_o(r) + \varepsilon)^\omega (q(o, r, t) + \varepsilon)^{p(1-\omega)}$
avec $p = 1$ si $off_o(r) \geq 0$ et $p = -1$ sinon.

Dans l'exemple de la table 3, le calcul du niveau des ouvriers a été réalisé avec $\varepsilon = 1$ et $\omega = 0.6$. Cette dernière valeur indique que l'offre de l'ouvrier prévaut légèrement sur sa qualité mais cette dernière est tout de même prise en compte. En effet, les montants de l'offre des ouvriers o_1 et o_3 sont identiques. Le niveau de o_1 est cependant plus élevé, car l'estimation de sa qualité est plus grande. L'influence de la qualité se

voit aussi en comparant o_3 et o_{10} . Ceux-ci font des offres proches (respectivement 2 et 1), mais le niveau de o_{10} est plus élevé car sa qualité est plus grande. Inversement, pour une même estimation de la qualité (par exemple o_4 et o_5), celui qui fait une meilleure offre a un niveau plus élevé.

	$q(o, r, t)$	$off_o(r)$	$niv(o, r)$
o_1	8	2	4.655
o_2	2	10	6.542
o_3	3	2	3.366
o_4	1	5	3.866
o_5	1	1	1.999
o_6	10	-3	-0.88
o_7	8	-4	-1.091
o_8	20	-8	-1.106
o_9	0	1	1.516
o_{10}	10	1	3.955

TAB. 3 – Niveaux calculés pour les 10 ouvriers avec $\varepsilon = 1$ et $\omega = 0.6$.

Le niveau de chaque agent permet de définir une relation d'ordre entre les ouvriers :

Définition 3 La relation de classement, notée $<_r$, est définie par :

- $\forall (o_1, o_2) \in \mathcal{W}_r \times \mathcal{W}_r, o_1 <_r o_2$ ssi
- $niv(o_1, r) < niv(o_2, r)$, ou
- $niv(o_1, r) = niv(o_2, r)$ et
 - si $\omega < 1 - \omega$ (i.e. la qualité a plus d'importance que l'offre)
 - $q(o_1, r, t) < q(o_2, r, t)$, ou
 - $q(o_1, r, t) = q(o_2, r, t)$ et
 - $off_{o_1}(r) < off_{o_2}(r)$, ou
 - $off_{o_1}(r) = off_{o_2}(r)$ et o_1 est avant o_2 dans l'ordre lexicographique
 - si $\omega > 1 - \omega$ (i.e. l'offre a plus d'importance que la qualité)
 - $off_{o_1}(r) < off_{o_2}(r)$, ou
 - $off_{o_1}(r) = off_{o_2}(r)$ et
 - $q(o_1, r, t) < q(o_2, r, t)$, ou
 - $q(o_1, r, t) = q(o_2, r, t)$ et o_1 est avant o_2 dans l'ordre lexicographique
 - si $\omega = 1 - \omega$
 - o_1 est avant o_2 dans l'ordre lexicographique

On peut démontrer les deux théorèmes suivants.

Théorème 1 La relation \leq_r , obtenue à partir de $<_r$ et où l'égalité correspond à l'égalité syntaxique du nom, est un ordre total sur \mathcal{W}_r .

Schéma de preuve La relation \leq_r est :

1. Réflexive. Trivial puisqu'il y a égalité en cas d'égalité syntaxique du nom.
2. Transitive. Supposons $o_1 \leq_r o_2$ et $o_2 \leq_r o_3$.
 - Si $o_1 =_r o_2$, les noms étant des identifiants uniques, cela signifie que o_1 et o_2 désignent en fait le même agent. Donc, trivialement $o_1 \leq_r o_3$.
 - De même si $o_2 =_r o_3$
 - Si $o_1 <_r o_2$ et $o_2 <_r o_3$.
 - si $niv(o_1, r) < niv(o_2, r)$
Puisque $o_2 <_r o_3$, par définition, $niv(o_2, r) \leq niv(o_3, r)$. Donc, $niv(o_1, r) < niv(o_3, r)$. D'où, $o_1 \leq_r o_3$.
 - si $niv(o_2, r) < niv(o_3, r)$
idem
 - si $niv(o_1, r) = niv(o_2, r)$ et $niv(o_2, r) = niv(o_3, r)$
Les différents cas à considérer sont : $\omega < 1 - \omega$, $\omega > 1 - \omega$ et $\omega = 1 - \omega$. Chacun se divise en sous cas et le raisonnement est toujours identique.

3. antisymétrique

Supposons que $o_1 \leq_r o_2$ et $o_2 \leq_r o_1$. Puisque $o_1 \leq_r o_2$, les cas suivant sont à considérer.

- $o_1 <_r o_2$
Ce qui par définition peut se traduire par :
- $niv(o_1, r) < niv(o_2, r)$
Si tel était le cas, nous aurions $niv(o_1, r) \not\leq niv(o_2, r)$, et donc $o_2 \not\leq_r o_1$. De plus, puisque les noms sont des identifiants uniques, $o_1 \neq o_2$. Donc, $o_2 \not\leq_r o_1$ Contradiction.
- $niv(o_1, r) = niv(o_2, r)$
Ce cas se divise lui même en sous-cas où le raisonnement est similaire à celui du point précédent ainsi que la conclusion : contradiction avec $o_2 \leq_r o_1$.
- $o_1 =_r o_2$
C'est le seul cas ne faisant pas apparaître de contradiction. Il correspond au cas où les deux variables désignent en fait le même agent.
Donc, si $o_1 \leq_r o_2$ et $o_2 \leq_r o_1$ alors $o_1 = o_2$ ce qui prouve l'antisymétrie.

Théorème 2 $\forall o_1, o_2 \in \mathcal{W}_r$,
si $off_{o_1}(r) \geq 0$ et $off_{o_2}(r) < 0$ alors $o_1 >_r o_2$.

Schéma de preuve D'après la définition de niv , si $off_{o_1}(r) \geq 0$ alors $niv(o_1, r) > 0$. De même, puisque $off_{o_2}(r) < 0$, $niv(o_2, r) < 0$, d'où le résultat.

D'après ce théorème, cette stratégie place toujours en premier les ouvriers souhaitant travailler sur la requête par rapport à ceux qui ne

le souhaitent pas, et ce indépendamment de la qualité des uns et des autres. Du point de vue de l'utilisateur, cela peut être perçu comme une stratégie favorisant les intérêts des ouvriers. Cependant, cela semble être un comportement admissible de la part d'un agent intermédiaire voulant conserver les ouvriers travaillant avec lui.

La notion de rang, qui découle de la relation de classement, permet de définir formellement quels seront les agents sélectionnés.

Définition 4 Le rang d'un ouvrier o par rapport à une requête r est défini par :

$$rang_r(o) = |\{o' : o' \in \mathcal{W}_r \text{ et } o \leq_r o'\}|.$$

On note, o_r^n l'ouvrier $o \in \mathcal{W}_r$ tel que $rang_r(o) = n$. La référence à r , sera omise chaque fois que cela n'entraînera pas d'ambiguïté.

La sélection des ouvriers qualifiés peut alors se définir simplement. Étant donnée une requête r , spécifiant un nombre $r.n$ d'ouvriers, il convient de prendre tous les ouvriers dont le rang est inférieur ou égal à $r.n$. S'il n'y en a pas n , tous les ouvriers de \mathcal{W}_r sont sélectionnés.

Définition 5 L'ensemble des ouvriers sélectionnés est défini par :

$$\mathcal{W}_r^n = \{o : o \in \mathcal{W}_r \text{ et } rang_r(o) \leq \min(n, |\mathcal{W}_r|)\}$$

La table 4 donne le rang qui est affecté, assez naturellement, aux 10 ouvriers de la table 3. Si la requête r précise un nombre $r.n$ d'ouvriers égal à 4, les agents o_2, o_1, o_{10}, o_4 sont sélectionnés. Par contre, si $r.n = 8$, tous les ouvriers ayant fait une offre positive sont sélectionnés, ainsi que o_6 même si son offre négative indiquait qu'il ne désirait pas traiter la requête. On dit alors que o_6 est réquisitionné.

	$niv(o, r)$	$rang_r(o)$
o_1	4.655	2
o_2	6.542	1
o_3	3.366	5
o_4	3.866	4
o_5	1.999	6
o_6	-0.88	8
o_7	-1.091	9
o_8	-1.106	10
o_9	1.516	7
o_{10}	3.955	3

TAB. 4 – Rangs des 10 ouvriers, avec $\epsilon = 1$ et $\omega = 0.6$.

Dans les tables 3 et 4, les ouvriers o_2 et o_4 obtiennent des niveaux et donc des rangs différents. Il est légitime de se demander ce qu'aurait dû faire o_4 pour obtenir le même niveau que o_2 . De manière générale, une information qui peut être intéressante, tant pour l'agent intermédiaire que pour un ouvrier, est de savoir quelle aurait dû être l'offre d'un ouvrier pour arriver à un niveau donné. La même question pourrait être posée en fonction de la qualité. Cependant, l'ouvrier ne peut faire évoluer l'estimation de sa qualité par l'agent intermédiaire qu'à moyen ou long terme, alors qu'il peut jouer plus directement sur son offre. C'est pourquoi nous introduisons la notion d'*offre théorique*.

Théorème 3 Soit r une requête et $o \in \mathcal{W}_r$. Si l'agent intermédiaire utilise une stratégie de sélection telle que $\omega \neq 0$ alors, l'offre théorique que devrait faire o pour arriver au niveau l par rapport à la requête r est obtenue par la formule :

$$off_o^{th}(r, l) = p \max\left(\left((pl)^{\frac{1}{\omega}} (\alpha(o, r, t) + \varepsilon)^{\frac{p(\omega-1)}{\omega}} - \varepsilon\right), 0\right)$$

avec $p = 1$ si $l \geq 0$, et $p = -1$ sinon.

Schéma de preuve Ce résultat est obtenu à partir de la proposition 1 par résolution d'équation avec $niv(o, r) = l$ et $off_o(r) = off_o^{th}(r, l)$. Le *max* assure un résultat positif.

L'exemple de la table 5 reprend les données relatives aux ouvriers o_2 et o_4 de l'exemple précédent. Pour obtenir le même niveau que celui de o_4 , o_2 peut se contenter d'une offre de 3.579. Inversement, pour parvenir au même niveau que o_2 , o_4 doit monter son offre jusqu'à 13.414.

La mise à niveau est utilisée dans la deuxième étape de résolution du problème qui concerne la facturation des agents. On remarquera que cette fonction est croissante en fonction de l (tous les autres paramètres étant fixés).

$\varepsilon = 1$ and $\omega = 0.6$		
	o_2	o_4
$\alpha(o, r, t)$	2	1
$off_o(r)$	10	5
$niv(o, r)$	6.542	3.866
$off_o^{th}(r, l)$	avec $l=3.866$ 3.579	avec $l=6.542$ 13.414

TAB. 5 – Mise à niveau de deux agents.

3.2 Calcul du montant des factures

Du mode de facturation choisi dépend à la fois le gain de l'agent intermédiaire et les stratégies

que peuvent utiliser les ouvriers et leurs représentants pour atteindre leurs objectifs. Ce mode de facturation, tout comme le mode de sélection, peut varier d'un agent intermédiaire à l'autre. Ici nous avons choisi de privilégier des modes de facturation qui favorisent les agents utilisant des stratégies ne faisant pas intervenir le mensonge, en particulier sur les coûts associés à des requêtes qu'ils ne veulent pas traiter.

Deux cas sont à considérer selon que, pour traiter la requête :

1. seuls ont été sélectionnés des ouvriers désirant la traiter (ils ont fait une offre positive), ou que
2. certains ouvriers ont été réquisitionnés pour la traiter requête (ils ont été sélectionnés alors qu'ils avaient fait une offre négative).

Dans ce dernier cas, le coût de la réquisition est réparti sur tous les agents capables de traiter la requête (y compris ceux qui n'ont pas été sélectionnés). Autrement dit, la réquisition d'un ouvrier peut coûter à tous les autres. Si plusieurs agents sont réquisitionnés, le montant total de la facture provient du coût de chaque réquisition. Pour refléter ce fait, nous introduisons la notation $FactPart(o_f, o_a, r)$ qui correspond au montant partiel de la facture de l'ouvrier o_f relative à la sélection de l'ouvrier o_a pour traiter la requête r . La même notation est utilisée que ce soit pour la réquisition ou la compétition pour conserver une présentation homogène bien qu'elle soit très peu utile dans le cas d'une compétition.

Facturation en cas de compétition. Lorsque l'ouvrier sélectionné pour traiter la requête demandait à réaliser la tâche correspondante, on considère qu'il était dans un processus de compétition. Est alors applicable un principe de vente aux enchères. Nous avons choisi de mettre en place un processus généralisant les ventes aux enchères de type Vickrey. C'est par rapport au meilleur agent ayant été exclu de la sélection que le calcul de la facturation s'effectue. Cependant, contrairement à des enchères Vickrey, le montant de la facture n'est pas directement calculé à partir de l'offre de cet agent. Le montant demandé à l'agent sélectionné est égal à l'offre théorique qu'il aurait dû faire pour se retrouver au niveau du premier agent non sélectionné. C'est une façon indirecte de prendre en compte la qualité.

Définition 6 Soit r une requête, soit \mathcal{W}_r , l'ensemble des ouvriers capables de répondre à la requête r .

La facturation partielle d'un ouvrier $o_f \in \mathcal{W}_r$

pour la sélection de l'ouvrier $o_a \in \mathcal{W}_r^{r.n}$ pour traiter la requête r , dans le cas où $off(o_a, t) > 0$, est définie par :

$$FactPart(o_f, o_a, r) = \begin{cases} off_{o_f}^{th}(r, niv(o_r^{n+1}, r)) & \text{si } r.n < |\mathcal{W}_r| \text{ et} \\ & o_f = o_a \text{ et} \\ & off_{o_r^{n+1}}(r) \geq 0 \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

En cas de compétition, seuls les agents qui ont été sélectionnés sont facturés. De plus pour qu'il y ait eu compétition, il faut qu'il y ait eu au moins un agent souhaitant avoir la requête qui soit exclu de la sélection. Lorsque la qualité n'est plus prise en compte ($\omega = 1$), et que l'on ne sélectionne qu'un seul agent ($r.n = 1$) on se ramène à une vente aux enchères de type Vickrey [7] en prenant $\varepsilon = 0$.

Théorème 4 Si $r.n = 1$, $\omega = 1$, $\varepsilon = 0$ et $\forall o \in \mathcal{W}_r$, $off_o(r) \geq 0$, alors nous sommes dans le cas d'une enchère type Vickrey.

Facturation en cas de réquisition. Il y a réquisition lorsqu'au moins un ouvrier avec une offre négative est sélectionné. L'idée est alors de répartir le coût de la réquisition sur tous les agents capables de répondre à la requête (et pas seulement sur ceux sélectionnés).

Définition 7 Soit r une requête, soit \mathcal{W}_r , l'ensemble des ouvriers capables de répondre à la requête r .

La facturation d'un ouvrier o_f pour la sélection de l'ouvrier o_a dans le cas où $off(o_a, t) < 0$ est définie par :

$$FactPart(o_f, o_a, r) = \begin{cases} \frac{-off_{o_a}^{th}(r.t, niv(o_r^{\min(|\mathcal{W}_r|, n+2)}, r.t))}{|\mathcal{W}_r|} & \text{si } o_f \neq o_a \\ off_{o_a}^{th}(r.t, niv(o_r^{\min(|\mathcal{W}_r|, n+1)}, r.t)) & \text{sinon} \\ \frac{-off_{o_a}^{th}(r.t, niv(o_r^{\min(|\mathcal{W}_r|, n+2)}, r.t))}{|\mathcal{W}_r|} & \end{cases}$$

Dans le premier cas, on demande à l'ouvrier qui n'a pas à effectuer la tâche de supporter celui qui doit la réaliser alors que dans le deuxième cas c'est la somme allouée à l'ouvrier à qui la tâche est imposé que l'on calcule. Une participation est tout de même demandée à ce dernier.

Notons que le fait d'imposer à o_a de travailler sur la requête r alors qu'il n'avait pas souhaité le faire est supporté par tous les agents.

Théorème 5 Si $r.n = 1$ et $\omega = 1$, et toutes les offres sont négatives, c'est un processus «d'imposition équitable» tel que défini dans [8].

«L'imposition équitable» fait qu'en cas de réquisition, la seule stratégie gagnante pour les fournisseurs, est d'exprimer leurs coûts réels [8] pour la réalisation d'une tâche.

Facturation générale. Il s'agit là de calculer pour chaque ouvrier de \mathcal{W}_r le montant total de sa facture. Celui-ci est obtenu en sommant les facturations partielles relatives à chaque ouvrier sélectionné.

Définition 8 Soit r une requête et \mathcal{W}_r l'ensemble des ouvriers pouvant y répondre.

La facturation de chaque ouvrier o de \mathcal{W}_r est obtenue par :

$$Fact(o, r) = \sum_{o_a \in \mathcal{W}_r^{r.n}} FactPart(o, o_a, r)$$

La sélection de trois ouvriers, parmi les dix que nous avons déjà considérés, pour le traitement de la requête r avec les offres et qualités présentées ci-dessus est illustrée par la table 6. Dans cet exemple, en supposant $r.n = 3$, seuls trois ouvriers sont sélectionnés, ce qui conduit à une situation de compétition entre les agents $o_1, o_2, o_3, o_4, o_5, o_9, o_{10}$. Dans ce cas, seuls ceux sélectionnés sont facturés. Au contraire, dans l'exemple illustré par la table 7, tous les ouvriers ayant effectué une offre positive pour cette requête sont sélectionnés. En effet, $r.n$ est supposé être égal à 8, ce qui impose en plus la réquisition de l'ouvrier o_6 qui a fait une offre négative. Dans ce cas, tous les ouvriers participent à l'effort financier. Si, toujours dans les mêmes conditions, $r.n$ avait été égal à 7, tous les agents souhaitant avoir la requête l'auraient eu et aucun agent n'aurait été réquisitionné, cela n'aurait donné lieu à aucune facturation car il n'y aurait eu ni compétition, ni réquisition.

Une propriété intéressante est que, dans un cas de compétition, un agent ne paye jamais plus que ce qu'il a lui même proposé.

Théorème 6 Soit r une requête, soit \mathcal{W}_r , l'ensemble des ouvriers capables de répondre à la requête r .

Si $|\mathcal{W}_r| > r.n$ et $off_{o_f}(r) \geq 0$ et $off_{o_r^{n+1}}(r) \geq 0$,

alors $\forall o_f, o_a, Fact(o_f, r) \leq off_{o_f}(r)$

	$niv(o, r)$	$rang_r(o)$	sél	$Fact(o, r)$
o_1	4.655	2	*	1.201
o_2	6.542	1	*	3.579
o_3	3.366	5		0
o_4	3.866	4		0
o_5	1.999	6		0
o_6	-0.88	8		0
o_7	-1.091	9		0
o_8	-1.106	10		0
o_9	1.516	7		0
o_{10}	3.955	3	*	0.926

TAB. 6 – Sélection de trois ouvriers avec $\epsilon = 1$ et $\omega = 0.6$.

	$niv(o, r)$	$rang_r(o)$	sél	$Fact(o, r)$
o_1	4.655	2	*	0.485
o_2	6.542	1	*	0.485
o_3	3.366	5	*	0.485
o_4	3.866	4	*	0.485
o_5	1.999	6	*	0.485
o_6	-0.88	8	*	-4.231
o_7	-1.091	9		0.485
o_8	-1.106	10		0.485
o_9	1.516	7	*	0.485
o_{10}	3.955	3	*	0.485

TAB. 7 – Sélection de 8 ouvriers avec $\epsilon = 1$ et $\omega = 0.6$.

Schéma de preuve Etant donné que le premier agent à n'avoir pas été sélectionné a fait une offre positive ($off_{o_r^{n+1}}(r) \geq 0$), nous sommes bien dans l'hypothèse d'une compétition.

D'après les définitions 6 et 8 si l'agent o_f n'a pas obtenu la requête il ne paye rien $Fact(o_f, r) = 0$. Donc dans ce cas, le résultat est trivialement vérifié.

Toujours d'après les mêmes définition, si l'agent o_f a obtenu la requête $Fact(o_f, r) = off_{o_f}^{th}(r, niv(o_r^{n+1}, r))$. Or, $niv(o_r^{n+1} \leq niv(o_f))$, et la fonction off^{th} étant croissante, $off_{o_f}^{th}(r, niv(o_r^{n+1}, r)) \leq off_{o_f}^{th}(r, niv(o_f)) = off_{o_f}(r)$. Donc, $Fact(o_f, r) \leq off_{o_f}(r)$

Théorème 7 *Quels que soient la requête r et l'ensemble \mathcal{W}_r ,*

$$\sum_{o \in \mathcal{W}_r} Fact(o, r) \geq 0$$

Schéma de preuve Dans le cas d'une compétition, toutes les factures étant positives, la

somme est trivialement positive.

Dans le cas de la réquisition, d'après la définition 7, la somme des transactions effectuées pour la réquisition d'un agent est égale à :

$$off_{o_a}^{th}(r, t, niv(o_r^{min(|\mathcal{W}_r|, n+1)}, r, t)) - off_{o_a}^{th}(r, t, niv(o_r^{min(|\mathcal{W}_r|, n+2)}, r, t))$$

Or, $niv(o_r^{min(|\mathcal{W}_r|, n+2)}, r, t) \leq niv(o_r^{min(|\mathcal{W}_r|, n+1)}, r, t)$ et la fonction off^{th} est croissante, donc, $off_{o_a}^{th}(r, t, niv(o_r^{min(|\mathcal{W}_r|, n+2)}, r, t)) \leq off_{o_a}^{th}(r, t, niv(o_r^{min(|\mathcal{W}_r|, n+1)}, r, t))$. Donc,

$$0 \leq off_{o_a}^{th}(r, t, niv(o_r^{min(|\mathcal{W}_r|, n+1)}, r, t)) - off_{o_a}^{th}(r, t, niv(o_r^{min(|\mathcal{W}_r|, n+2)}, r, t))$$

La somme des transactions pour la réquisition d'un agent est donc positive. Si plusieurs agents sont sélectionné, la somme totale des transactions est donc elle aussi positive.

Ce théorème indique simplement que l'agent intermédiaire ne perd pas «d'argent» que ce soit lors de la médiation d'une compétition entre agents ou lors d'une réquisition. Dans ce dernier cas, c'est la société d'agents qui supporte dans son ensemble les coûts de la réquisition.

Rappelons que l'objectif d'un agent intermédiaire n'est pas de maximiser ses gains, mais bien de répartir au mieux les requêtes entre les agents en tenant compte de leurs préférences respectives et des intérêts divergents des ouvriers et des utilisateurs. En suivant le processus décrit ici, dans bien des cas, cet agent va pourtant gagner de l'argent. Cet argent doit être redistribué d'une manière ou d'une autre. Deux cas sont alors à considérer : (a) cette notion monétaire est générale à tout le système. Il se peut alors que les agents intermédiaires aient aussi des coûts à supporter et la médiation est leur manière d'obtenir un financement ; ou (b) seul le processus de médiation utilise en local cette notion monétaire. Dans ce dernier cas, l'argent gagné par l'agent intermédiaire peut être redistribué directement aux ouvriers en tenant compte de critères comme, par exemple, nombre de requêtes traitées et qualité des réponses apportées. Cette redistribution n'est cependant pas l'objet du présent article.

4 Comparaison avec d'autres approches

Dans les travaux qui utilisent des agents intermédiaires [2, 10] , le processus d'appariement

(matchmaking) est le plus souvent basé sur un rapprochement des requêtes et des déclarations de capacités faites par les agents fournisseurs, que l'algorithme soit basé sur une unification de termes [4], ou plus sophistiqué [6, 9], prenant en compte une notion de voisinage. Une utilisation de la qualité pour améliorer la sélection d'un agent fournisseur capables de traiter une requête est détaillée dans [11]. Pour chaque agent fournisseur, l'agent intermédiaire dispose de ses «antécédents» (track records). Ceux-ci sont obtenus à l'aide de benchmarks et des retours des utilisateurs en termes de degrés de satisfaction («très grande satisfaction», «satisfaction», etc). L'algorithme combine alors ces différentes informations pour obtenir une matrice qui donne pour chaque agent un poids à chaque degré de satisfaction. Notre modèle utilise une représentation de la qualité plus simple⁵, mais donne la possibilité aux agents fournisseurs de participer activement au processus d'appariement en indiquant leurs préférences. A notre connaissance, il n'existe pas de mécanismes d'appariement offrant cette possibilité. De plus, notre vision du processus d'appariement est légèrement étendue dans la mesure où nous autorisons la sélection de plusieurs fournisseurs.

Comme nous envisageons un environnement compétitif, les préférences des agents sont exprimées sous la forme d'offres sur les requêtes. De plus, une requête étant assimilée à une tâche, le processus proposé s'apparente plus à un mécanisme de négociation pour l'allocation de tâche entre agents ayant chacun leurs buts propres⁶, tel les ventes aux enchères [7]. Cependant, la sélection des agents est très différente car elle prend aussi en compte la qualité des agents, et peut amener à réquisitionner des agents ne souhaitant pas traiter la requête, deux particularités que l'on ne retrouve pas dans une vente aux enchères. Un mécanisme de réquisition équitable est proposé dans [8] avec des offres négatives des agents et n'utilise pas la qualité comme paramètre. La détermination de la facturation se distingue également d'autres travaux. En effet les montants calculés ne prennent pas seulement en compte les offres, mais aussi la qualité. C'est pourquoi par exemple, lorsque toutes les offres sont positives, on s'inspire de la vente aux enchères Vickrey, mais en utilisant les offres théoriques. Quoiqu'un peu plus complexe, la démarche est la même dans le cas d'offres négatives.

⁵Cette représentation peut être obtenue de manière via les mêmes techniques.

⁶Nous ne retenons pas ici le Contract Net Protocol car il est plutôt pensé dans une optique de coopération [3]

5 Conclusion

Le modèle présenté dans cet article a l'avantage de prendre en compte, via leur modélisation sous forme d'offres, les préférences des agents fournisseurs (ouvriers) lors de la sélection d'un certain nombre d'entre eux pour traiter une requête d'utilisateur. La sélection prend aussi en compte une estimation de la qualité du fournisseur par l'agent intermédiaire. La médiation réalisée se veut équitable. Cette notion d'équité est recherchée entre le point de vue de l'utilisateur et celui des agents ouvriers lors que $\omega = 0.5$, mais aussi entre les agents ouvriers. En effet, le coût d'une réquisition de fournisseurs est supporté par tous les fournisseurs, y compris ce qui ne sont pas réquisitionnés.

D'un point de vue complexité, le processus de sélection est en $\Theta(n \log_2(n))$ où n est le nombre d'agents ayant les capacités de répondre à la requête. Celui du calcul des factures des ouvriers est en $\Theta(n^2)$ dans le pire des cas. Le plus coûteux risque donc d'être l'obtention des données initiales (détermination des agents capables de traiter la requête, obtention des offres et des qualités).

Nous pensons que ce modèle est particulièrement bien adapté dès que les fournisseurs d'informations ou de services veulent avoir la possibilité d'influencer la sélection des requêtes qu'ils reçoivent, en fonction de leurs objectifs. Par exemple, une agence de voyage virtuelle, ayant à écouler beaucoup de voyages clés en main en Egypte, préfère recevoir en priorité des requêtes concernant les voyages vers cette destination. Ainsi la source d'information ou le service est moins «passif» [1].

Un certain nombre de points demandent des études supplémentaires. Ainsi, le modèle peut être généralisé pour considérer le traitement simultané de plusieurs requêtes, ou de requêtes impliquant plusieurs tâches. Un autre axe de recherche concerne les différentes politiques du médiateur quant à l'utilisation des bénéfices réalisés lors de la médiation (usage propre ou redistribution aux agents participants). Enfin, nous avons supposé que la mesure de la qualité estimée d'un agent par rapport à une tâche était fournie. L'obtention de cette donnée dépend du système dans lequel les agents interagissent. Nous comptons donc étudier ce problème sur des systèmes spécifiques.

Remerciements Ce travail est en partie financé par la Fondation VediorBis pour la Recherche et l'Emploi sous l'égide de la Fondation de France.

Références

- [1] S. Cazalens, E. Desmontils, C. Jacquin, and P. Lamarre. Sources d'informations et de connaissances : de la gestion locale à la recherche distribuée. *RSTI, L'Objet*, 8(4), Nov. 2002.
- [2] K. Decker, K. Sycara, and M. Williamson. Middle-Agents for the Internet. In *Fifteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'97)*. Morgan Kaufmann, 1997.
- [3] M. N. Huns and L. M. Stephens. *Multiagent Systems, a modern approach to Distributed Artificial Intelligence*, chapter Multiagent Systems and Societies of Agents. The MIT Press, 2001.
- [4] D. Kuokka and L. Harada. Matchmaking for Information Agents. In *Fourteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'95)*. Morgan Kaufmann, 1995.
- [5] L. Mui, A. Halberstadt, and M. Moh-tashemi. Notions of Reputation in Multi-Agents Systems : A review. In C. Castelfranchi and W. Johnson, editors, *First International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AA-MAS'02)*. ACM Press, 2002.
- [6] M. Nodine, W. Bohrer, and A. H. H. Ngu. Semantic Brokering over Dynamic Heterogeneous Data sources in InfoSleuth. In *International Conference on Data Engineering (ICDE)*, 1999.
- [7] T. W. Sandholm. *Multiagent Systems, a modern approach to Distributed Artificial Intelligence*, chapter Distributed Rational Decision Making. The MIT Press, 2001.
- [8] Y. Shoham and M. Tennenholtz. Fair Imposition. In *Seventeenth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'01)*. Morgan Kaufmann, 2001.
- [9] K. Sycara, M. Klusch, and S. Widoff. Dynamic service machmaking among agents in open information environments. *ACM SIGMOD Record, Special Issue on Semantic Interoperability in Global Information Systems*, 28(1) :47–53, 1999.
- [10] H. C. Wong and K. Sycara. A taxonomy of middle-agents for the internet. In *Fourth International Conference on MultiAgent Systems (ICMAS 2000)*, pages 465–466, July 2000.
- [11] Z. Zhang and C. Zhang. An improvement to Matchmaking Algorithms for Middle Agents. In C. Castelfranchi and W. Johnson, editors, *First International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AA-MAS'02)*. ACM Press, 2002.