

# Un mécanisme de négociation multicritère pour le commerce électronique

## A multi-criteria negotiation mechanism for electronic commerce

I. Brigui      M.J. Bellosta      S. Kornman      S. Pinson      D. Vanderpooten

Laboratoire d'Analyse et Modélisation de Systèmes pour l'Aide à la Décision (LAMSADÉ)  
Université Paris-Dauphine

Place du Maréchal De Lattre de Tassigny  
75775 Paris France

{brigui, bellosta, kornman, pinson, vdp}@lamsade.dauphine.fr

### Résumé

*Dans cet article nous présentons un mécanisme de négociation multicritère pour le commerce électronique, basé sur un modèle multicritère utilisant des points de référence. Selon ce modèle, l'acheteur doit spécifier un point d'aspiration qui exprime les valeurs souhaitées sur chaque attribut décrivant le produit à acheter et un point d'exigence qui représente les valeurs minimales acceptables sur chaque critère. Le mécanisme de négociation utilise un protocole d'enchères anglaises inversées et conduit la négociation vers le point d'aspiration de l'acheteur en assurant un contrôle direct sur le processus d'échanges.*

### Mots Clef

Négociation, enchères multi-attributs, système multi-agents, commerce électronique

### Abstract

*In this paper we present a multi-attribute negotiation mechanism for electronic commerce which is based on a multicriteria model using reference points. According to the model, the buyer must specify an aspiration point that expresses his desired values on the attributes and a reservation point that represents the minimal values required. The negotiation mechanism uses an English reverse auction protocol and leads the negotiation to the buyer's aspiration point by providing a direct control on the bidding process.*

### Keywords

Negotiation, multi-attribute auctions, multi-agent systems, electronic commerce

## 1. Introduction

Les applications de commerce électronique de dernière génération suivent généralement le modèle Consumer Buying Behaviour Model (CBB) [9]. Le modèle CBB comporte six phases: identification des besoins, sélection des produits, recherche des meilleures offres, négociation, achat et livraison du produit. Les acteurs humains

consommateurs et vendeurs sont représentés par des agents logiciels. Un consommateur est représenté par un agent acheteur qui connaît les produits recherchés, ainsi que les préférences du consommateur. Un vendeur est représenté par un agent vendeur qui connaît l'état des stocks et les conditions de vente que le vendeur est prêt à accorder. La phase de négociation porte sur l'amélioration des conditions de vente. L'accord final entre agents résulte d'une suite d'échanges régis par un protocole de négociation.

Les protocoles d'enchères offrent les mécanismes les plus compétitifs pour la négociation [10] et [21]. Un mécanisme d'enchères alloue des ressources aux acheteurs et aux vendeurs en se basant sur des règles prédéfinies. Ces règles définissent le processus d'échange de propositions, la détermination du gagnant et l'accord final. Les protocoles d'enchères mis en œuvre sont les enchères hollandaises, les enchères à enveloppes scellées, les enchères Vickrey [20] et les enchères anglaises. Face aux enchères portant uniquement sur le prix qui sont largement dominantes [6], [12] et [15], d'autres types d'enchères ont été définis et étudiés tels que les enchères à multiples exemplaires [4], les enchères combinées [7], [16], et les enchères multi-attributs [1], [4], [5], [13] et [14]. Les enchères à multiples exemplaires portent sur un ensemble d'articles identiques. Les enchères combinées sont des enchères à multiples exemplaires où les propositions peuvent s'effectuer sur une partie de l'ensemble d'articles. Les enchères multi-attributs portent sur plusieurs caractéristiques d'un produit incluant non seulement son prix mais aussi sa qualité, les conditions de livraisons, de maintenance, etc. Les acheteurs définissent leurs préférences sur l'article recherché et les vendeurs sont en concurrence sur tous les attributs spécifiés par l'acheteur. Dans cet article, nous prenons en compte les enchères multi-attributs.

L'automatisation d'enchères multi-attributs s'appuie sur plusieurs composants clefs:

- Un *modèle de préférences* pour l'expression des préférences de l'acheteur.
- Une *méthode d'agrégation multicritère* pour la sélection de la meilleure offre par l'agent acheteur.
- Un *module de décision* de l'agent acheteur pour la formulation des contre-propositions.

Les méthodes d'agrégation multicritère se basent généralement sur le modèle de la somme pondérée. Selon ce modèle, chaque critère se voit assigner un poids rendant compte de son importance. L'évaluation d'une proposition se fait en sommant les valeurs pondérées relatives à chaque critère. La meilleure proposition correspond à l'évaluation la plus élevée. Toutefois, ce modèle présente quelques défauts [19] :

1. les poids associés aux attributs sont difficiles à définir et à interpréter, d'autant plus que de petites variations de ces poids peuvent changer radicalement le choix de la meilleure proposition.
2. le modèle de la somme pondérée est totalement compensatoire. Ainsi, une proposition avec un très bas score sur un critère peut être sélectionnée si elle a un score élevé sur un critère important. Cette proposition pourrait obtenir une évaluation tout juste supérieure à une autre proposition ayant de bons scores sur l'ensemble des critères et lui être préférée.
3. certaines solutions non-dominées ne peuvent jamais être considérées comme la meilleure avec le modèle de la somme pondérée. Ceci est un inconvénient sévère, car certaines solutions non-dominées sont systématiquement rejetées pour d'unique raisons techniques.

Dans cet article, nous proposons l'utilisation d'un modèle multicritère basé sur des points de référence pour répondre aux insuffisances du modèle de la somme pondérée. Nous proposons aussi un mécanisme de négociation utilisant un protocole d'enchères anglaises inversées fondé sur ce modèle. A chaque étape de la négociation, l'agent acheteur spécifie la valeur minimale acceptable sur chaque critère d'une proposition. Ce mécanisme permet un contrôle plus direct sur le processus de négociation que celui offert par le modèle de la somme pondérée.

La suite de cet article est structurée en six parties. La section 2 présente un état de l'art ciblant les enchères multi-attributs dans le commerce électronique. La section 3 introduit le modèle de préférences choisi. La section 4 détaille le mécanisme d'enchères adopté. La section 5 présente les tests réalisés et compare les résultats obtenus avec le modèle de la somme pondérée. La section 6 termine par une conclusion et des perspectives.

## 2. Etat de l'art

La plupart des recherches menées pour automatiser les enchères multi-attributs se basent sur le modèle de la somme pondérée [5], [14], [4]. Les protocoles d'enchères classiques ont été étendus en remplaçant l'attribut *prix* par l'évaluation multi-attribut d'une proposition.

Oliveira et al. proposent un protocole peer-to-peer d'enchères anglaises inversées multi-attributs, basé sur la somme pondérée. La négociation est totalement distribuée. L'agent acheteur négocie directement avec chaque vendeur. Les enchères comportent plusieurs étapes d'une durée prédéfinie. La négociation est lancée par l'agent acheteur qui envoie aux agents vendeurs concernés ses préférences sur le produit recherché ainsi que l'évaluation minimale de départ pour une proposition. Les vendeurs évaluent la demande, envoient une proposition acceptable ou se retirent de la négociation. Quand l'acheteur a reçu toutes les offres ou le délai prédéfini a été atteint, les offres sont évaluées et la meilleure sélectionnée. Son évaluation sert de base à l'étape suivante sous la forme d'une contre-proposition envoyée par l'agent acheteur aux vendeurs restant en compétition. Les enchères continuent jusqu'à ce que tous les vendeurs sauf un aient abandonné et se terminent sur un contrat avec le dernier vendeur. Ce protocole a été défini pour prendre en compte l'aspect multicritère des enchères. Nous l'avons étendu dans le cadre du modèle multicritère à points de référence, ce qui nous a permis de comparer l'utilisation de notre modèle et celui de la somme pondérée.

Bichler et al. utilisent un protocole d'enchères multi-attributs pour une place de marché. Ils introduisent la notion de monnaie virtuelle, qui représente l'évaluation d'une proposition suivant son prix et la valeur des autres attributs. Les enchères utilisent un agent médiateur et débutent lorsque les agents vendeurs déclarent leurs capacités. Dans une étape ultérieure, l'acheteur pourvoit toutes les informations relatives à l'article souhaité et à ses préférences. Toutes ces informations sont regroupées dans un message d'appel à proposition envoyé à l'agent médiateur qui se charge d'en informer les différents vendeurs engagés dans la négociation et collecte en conséquence leurs propositions. Du côté des vendeurs, le système fournit un outil d'aide à la formulation des propositions leur permettant de demander des informations (à caractère anonyme) concernant les autres propositions. Une fois les propositions faites et l'enchère close, l'agent médiateur détermine la meilleure proposition toujours sur la base de la somme pondérée et établit le contrat.

L'inconvénient majeur du modèle de la somme pondérée est son caractère totalement compensatoire, déjà évoqué dans l'introduction. Par opposition, le modèle des points de référence que nous proposons n'autorise pas la compensation des critères. De plus, il permet la définition

d'un mécanisme d'enchères offrant un contrôle direct à l'agent acheteur.

Basé sur un modèle de préférences dédié à la vente de billets d'avion, le système SARDINE [13] présente un marché aux enchères décrit par plusieurs attributs statiques. Les préférences portent sur plusieurs critères tels que le prix, la date et l'heure du vol, auxquels est associé un degré de flexibilité pouvant prendre trois valeurs prédéfinies : « très flexible », « moyennement flexible » et « peu flexible » qui permet de dégager le poids *weight* et l'intervalle d'acceptabilité *range* de chaque critère. L'évaluation des propositions se fait suivant la formule suivante :

$$dist = \sum_i weight_i \left( \left| \frac{preferred_i - actual_i}{range_i} \right| \right)$$

*Preferred<sub>i</sub>*: La valeur préférée sur le *i*<sup>ème</sup> critère.

*Actual<sub>i</sub>*: La valeur du *i*<sup>ème</sup> critère dans la proposition courante.

Le modèle utilisé considère comme équivalentes les valeurs (*preferred*-*x*) et (*preferred*+*x*) d'un même attribut. Ainsi, si l'heure de départ souhaitée est 8h du matin, les heures de départ 11h et 5h du matin seront considérées comme équivalentes ce qui n'est pas nécessairement le cas.

La similarité à noter entre ce modèle et celui que nous proposons est la définition d'un point de référence exprimant les valeurs souhaitées sur chaque critère. Toutefois, le modèle que nous proposons ne souffre pas de l'inconvénient souligné plus haut.

### 3. Modèle multicritère

Dans ce paragraphe, nous présentons les concepts fondamentaux du modèle multicritère qui permettent d'identifier les préférences de l'acheteur, ainsi que la méthode multicritère d'évaluation et de sélection des propositions.

#### 3.1. Modèle de préférences

Nous donnons pour commencer, quelques notations et définitions préliminaires:

- *n*, le nombre de vendeurs,
- *p*, le nombre d'attributs,
- $D = D_1 \times \dots \times D_p$  l'espace de décision où  $D_j$  désigne le domaine de valeurs du critère *j*.
- $x_i = (x_{i1}, \dots, x_{ip}) \in D$  la proposition du vendeur *i*.
- $C = C_1 \times \dots \times C_p$  définit l'espace des critères.
- $v_j$ , la fonction de valorisation définie de  $D_j$  dans  $C_j = [0,100]$  correspondant au critère *j*.
- $b_i = (b_{i1}, \dots, b_{ip}) \in C$  où  $b_{ij} = v_j(x_{ij})$ , la proposition valorisée du vendeur *i* sur le critère *j*.

Nous rappelons, par ailleurs, les concepts suivants de l'aide à la décision [17]

-  $\Delta$ , la relation de dominance telle que

$$b_m \Delta b_i \Leftrightarrow b_{mk} \leq b_{ik} \quad \forall k \in \{1, K, \dots, p\} \text{ et } \exists l \in \{1, K, \dots, p\} \mid b_{ml} < b_{il}$$

-  $b_i$  est non dominée ssi il n'existe pas  $b_k$  telle que  $b_i \Delta b_k$ .

-  $b_i$  est efficace ssi  $b_i$  est non dominée. L'ensemble des propositions efficaces est noté  $E$ .

-  $ideal = (ideal_1, \dots, ideal_p)$  où  $ideal_j = \max_{i=1 \dots n} (b_{ij})$ , le point  $ideal$  formé des scores optimaux sur tous les critères recueillis séparément.

-  $antiIdeal = (antiIdeal_1, \dots, antiIdeal_p)$  où  $antiIdeal_j = \min_{i=1 \dots n} (b_{ij})$ , le point  $antiIdeal$  formé des scores minimaux sur tous les critères recueillis séparément.

Le modèle multicritère utilisé se base sur les points de référence suivants :

-  $a = (a_1, \dots, a_p)$  : le point d'aspiration où  $a_j$  représente le score souhaité par l'acheteur sur le critère *j*. L'acheteur fournit ses aspirations en valeurs effectives et le système les traduit en scores pour former les niveaux d'aspiration.

-  $e = (e_1, \dots, e_p)$  le point d'exigence où  $e_j$  représente la valeur minimale exigée par l'acheteur sur le critère *j*. L'acheteur fournit ses exigences en valeurs effectives et le système les traduit en scores pour former les niveaux d'exigence.

#### 3.2. Méthode multicritère

La méthode multicritère utilise la définition d'une déviation au point d'aspiration qui mesure l'écart maximal entre les valeurs des critères. Soit le point d'aspiration  $a$  et une proposition  $b$ , la déviation de  $b$  à  $a$  est définie par la relation:

$$deviation(a, b) = \max_{j=1, \dots, p} (\lambda_j(a_j - b_j)) \quad (1)$$

$$\text{avec } \lambda_j = \frac{1}{ideal_j - antiIdeal_j}$$

L'évaluation d'une proposition mesure la déviation qui la sépare du point d'aspiration. La déviation retenue est la norme pondérée de Tchebychev. On calcule pour chaque critère l'écart entre le niveau d'aspiration et le score de la proposition, que l'on pondère par l'écart entre le meilleur et le pire score sur ce critère. Cette pondération permet de ramener à une même échelle les écarts absolus sur les différents critères: un écart absolu de 1 sur deux critères différents peut en effet représenter des écarts d'importance très différente. On retient finalement l'écart maximal obtenu sur l'ensemble des critères. Cet écart est positif si le point d'aspiration  $a$  n'est pas dominé par la proposition  $b$  et négatif sinon.

#### Proposition 1

La relation  $\Phi$  définie sur  $E$  par :

$b_m \phi b_i \Leftrightarrow deviation(a, b_m) < deviation(a, b_i)$  est une relation d'ordre total sur  $E$ .

L'ensemble des propositions reçues lors d'une enchère est totalement ordonné par cette relation. Ainsi, à chaque étape d'une enchère, la meilleure proposition  $b^*$  est celle qui minimise la déviation au point d'aspiration :

$$b^* = \arg \min_{b \in E} \{deviation(a, b)\} \quad (2)$$

#### 4. Protocole et mécanisme d'enchères

La mise en œuvre d'enchères automatiques suppose la définition d'un protocole de communication entre agents et d'un mécanisme de relance des enchères. Le protocole fixe les possibilités d'initier une négociation, de répondre à un message et d'utiliser des séquences d'actions au sein du processus d'enchères [9], [10]. Le mécanisme de relance détermine à chaque étape quelles contraintes les nouvelles propositions doivent respecter.

##### 4.1. Primitives et sémantique

Nous présentons dans ce qui suit les actions valides durant les enchères, les règles qui les régissent ainsi que la sémantique qui leur est associée. Le protocole considéré définit une adaptation à l'aspect multicritère du protocole des enchères anglaises inversées [14]. La figure 1 regroupe les actes primitifs de communication du protocole ainsi que la sémantique qui leur est associée.

| MESSAGE                                    | SEMANTIQUE                                                                                  | CONTEXTE                                                                 |
|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| CallForPropose (a, g, Preferences)         | a lance les enchères avec le groupe de vendeurs g en donnant ses préférences sur le produit | a suppose que les vendeurs peuvent fournir le produit désiré             |
| propose (v, a, bid)                        | v envoie une proposition à a                                                                | En réponse à un message callForPropose ou à un requestForPropose         |
| requestForPropose (a, g, counter-proposal) | a demande au groupe de vendeurs restants d'améliorer leurs offres                           | En réponse aux messages propose                                          |
| Accept (a, v)                              | a accepte la dernière proposition envoyée par v                                             | En réponse à un message propose et annonçant la fin des enchères         |
| Reject (a, v)                              | a élimine v des enchères                                                                    | En réponse à un message propose et annonçant la fin des enchères         |
| abort (v)                                  | v abandonne les enchères                                                                    | En réponse à un message callForPropose ou à un message requestForPropose |

Figure 1 : Primitives de dialogue

Le diagramme de la Figure 2 définit le modèle comportemental de l'agent acheteur. La négociation débute quand l'agent acheteur envoie un appel d'offre (*callForPropose*) à tous les agents vendeurs potentiellement intéressés (Etat initial vers Etat 1). L'appel d'offre définit le produit recherché, les préférences concernant le produit et la valeur minimale requise pour une proposition. L'agent acheteur attend

alors les propositions des vendeurs (Etat 1). A la fin de l'étape, l'agent acheteur évalue les propositions (Etat 1 à Etat 2). Trois situations peuvent alors se présenter : 1) Toutes les réponses sont des refus et la négociation se termine sur un échec (Etat 2 à Echec) ; 2) Au moins deux réponses contiennent une proposition pour le produit recherché. La meilleure proposition est alors sélectionnée, le vendeur correspondant mis en attente et la contre-proposition calculée et envoyée aux vendeurs restants (Etat 2 à Etat 1) ; 3) Une seule réponse comporte une proposition, l'agent acheteur l'accepte, envoie un message d'acceptation et attend la validation du vendeur (Etat 2 à Succès). La négociation se termine sur un succès.

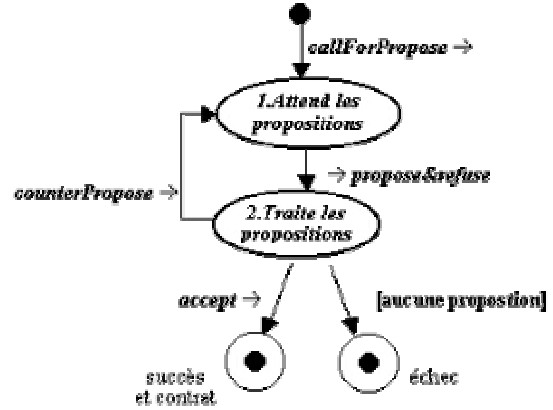


Figure 2 : Diagramme d'état d'un agent acheteur

##### 4.2. Définition des contre-propositions

La définition des contre-propositions assure la progression des propositions vers le point d'aspiration de l'acheteur et l'efficacité, au sens de Pareto, du mécanisme d'enchères proposé. Elle est basée sur la règle du «beat-the-quote» introduite dans [21] que nous avons adaptée pour prendre en compte l'aspect multicritère. Selon le principe des enchères anglaises, la règle du «beat-the-quote» impose que toute nouvelle proposition soit meilleure que la meilleure proposition reçue jusqu'alors. Lorsque l'évaluation des propositions se réduit à une fonction d'agrégation réelle, cette règle est mise en œuvre en introduisant un incrément  $\epsilon$  qui représente l'amélioration demandée à chaque étape.

##### Proposition 2

Une condition suffisante pour que le mécanisme d'enchère réponde à la règle du «beat-the-quote» est qu'à l'étape  $t+1$  de l'enchère toute proposition  $b^{t+1}$  satisfasse:

$$\forall j \in \{1, \dots, p\} \quad b_j^{t+1} \geq a_j - (d^t - \epsilon) / \lambda_j \quad (3)$$

où  $a_j$  désigne le niveau d'aspiration sur le critère  $i$ ,  $d^t$  la déviation minimale au point d'aspiration à l'étape  $t$  et  $\epsilon$  un incrément spécifié à l'avance.

La relation (3) se déduit de la relation suivante imposée par la règle du «beat-the-quote» et de la définition (1). La règle du «beat-the-quote» demande que toute proposition  $b^{t+1}$  reçue à l'étape  $t+1$  respecte (4)

$$\text{deviation}(b^{t+1}, a) \leq d^t - \varepsilon \quad (4)$$

### Définition du point d'exigence

Une condition suffisante pour (4) peut être exprimée par un point d'exigence  $e^{t+1}$  actif à l'étape  $t+1$ . Le point d'exigence de l'étape  $t+1$  est défini par la relation (5)

$$\forall j \in \{1, \dots, p\} \quad e^{t+1}_j = a_j - (d^t - \varepsilon) / \lambda_j \quad (5)$$

À l'étape  $t+1$ , l'agent acheteur envoie le point d'exigence défini par (5) comme contre-proposition à tous les vendeurs appelés à améliorer leurs propositions. La définition des contre-propositions sous forme de points d'exigence assure la progression des propositions vers le point d'aspiration. De plus, elle permet à l'agent acheteur de garder privé son point d'aspiration et son modèle d'agrégation.

### 4.3. Propriétés

Le mécanisme d'enchère ainsi défini présente plusieurs propriétés intéressantes. Tout d'abord, la suite des points d'exigence  $e^t$  ( $t \in \{1, \dots, \text{dernière}\}$ ) est une suite croissante pour la relation d'ordre  $\Phi$  définie dans la section 3. Cette propriété résulte de l'inégalité suivante:

$$\forall t \in \{1, \dots, \text{dernière}\} \quad \text{deviation}(a, e^{t+1}) < \text{deviation}(a, e^t)$$

qui se démontre aisément en considérant (5). Cette propriété assure la progression des propositions vers le point d'aspiration, étape après étape.

Par ailleurs, la suite  $e^t$  ( $t \in \{1, \dots, \text{dernière}\}$ ) est également croissante pour la relation de dominance :

$$\forall t \in \{1, \dots, \text{dernière}\} \quad e^{t+1} \Delta e^t$$

En outre, la définition d'une contre-proposition assure deux propriétés nécessaires à une enchère:

- la *dominance de proposition* ou «*bid dominance*» exige qu'un vendeur offre toujours une proposition meilleure que sa dernière envoyée ;
- l'*efficacité* suppose que le vendeur avec la meilleure proposition gagne.

En effet, dans les enchères anglaises, deux cas peuvent se produire : soit le vendeur avec la meilleure proposition gagne avec une proposition juste au-dessus de la deuxième meilleure, soit le deuxième vendeur gagne avec une proposition juste en-dessous de la meilleure. Ce deuxième cas arrive quand l'incrément utilisé par l'agent acheteur est supérieur à la différence entre la meilleure proposition et la deuxième meilleure. Dans ce sens, le mécanisme présenté assure l'efficacité des enchères. Par faute de place, nous laissons au lecteur le soin de ces démonstrations.

En résumé, le mécanisme d'enchères que nous avons défini assure les règles de base des enchères anglaises et garantit une évolution des enchères vers le point d'aspiration défini par l'acheteur.

### 4.4. Algorithme

L'algorithme d'enchères étend l'algorithme des enchères anglaises inversées [14] en considérant le modèle des points de référence. Il se décompose en quatre étapes décrites ci-dessous. L'acheteur lance l'enchère avec le nom du produit cherché et la liste des vendeurs qui fournissent ce produit.

**Collecte des informations.** L'agent acheteur collecte les préférences de l'acheteur (les fonctions de valorisation des critères, les valeurs effectives pour les points d'aspiration et d'exigence), la durée maximale de l'enchère et l'incrément  $\varepsilon$ .

**Appel d'offre.** L'agent acheteur calcule les points de référence en utilisant les fonctions de valorisation et la durée maximale d'une étape. Il envoie un appel d'offre (performative *callForPropose*) composé des fonctions de valorisation, du point d'exigence initial, du temps de fin de l'enchère, et de la durée maximale d'une étape.

**Lambda définition.** L'agent acheteur reçoit les premières réponses (messages *propose* et/ou *abort*). Il définit les valeurs  $\lambda_j$  avec  $j \in \{1, \dots, p\}$ , qui sont utilisées durant toute l'enchère.

**Boucle de l'enchère.** L'agent acheteur répète les opérations suivantes jusqu'à la fin de l'enchère, i.e., l'ensemble des vendeurs en compétition est vide ou le temps de fin de négociation est atteint :

1. sélectionne la meilleure proposition comme proposition de référence pour l'étape suivante, et met en attente le vendeur correspondant,
2. définit le nouveau point d'exigence,
3. envoie une nouvelle demande aux agents vendeurs (performative *requestForProposal*) hormis le vendeur en attente,
4. attend et collecte les propositions des vendeurs.

**Fin de l'enchère.** Les enchères échouent s'il n'y a pas de proposition, sinon les enchères se terminent avec succès. S'il ne reste qu'une seule proposition, celle-ci est gagnante et l'acheteur envoie un message d'acceptation à l'agent associé (performative *accept*). Dans le cas contraire, la durée de l'enchère est atteinte et plusieurs propositions restent en compétition. L'agent acheteur envoie un message d'acceptation à l'agent associé à la meilleure proposition et un message de rejet autres vendeurs (performative *reject*).

### 4.5. Exemple d'illustration

Nous présentons un exemple qui illustre une enchère où un acheteur négocie avec 5 vendeurs ( $V_1, \dots, V_5$ ) l'achat d'un produit décrit par 2 critères  $c_1$  et  $c_2$ . Le point d'aspiration est  $a=(80, 50)$  et le point d'exigence  $e=(20, 5)$ . L'incrément  $\varepsilon$  est fixé à 0.03. À la première étape, les vendeurs formulent les propositions respectives du tableau ci-dessous.

| vendeur $v_i$ | valorisation | deviation |
|---------------|--------------|-----------|
| $V_1$         | (96,7)       | 0.57      |
| $V_2$         | (50,55)      | 0.41      |
| $V_3$         | (94,7)       | 0.57      |
| $V_4$         | (85,20)      | 0.40      |
| $V_5$         | (23,82)      | 0.78      |

**Tableau 1 : Première itération**

Les points *Ideal* et *antiIdeal* sont déduits de l'ensemble des propositions :

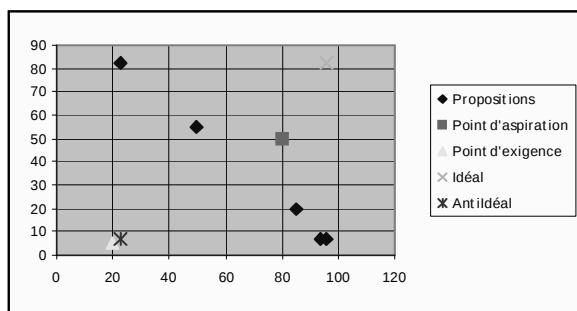
$$\text{ideal} = (96,82)$$

$$\text{antiIdeal} = (23,7)$$

D'où les valeurs:

$$\lambda_1 = 1/(96-23) = 1/73$$

$$\lambda_2 = 1/(82-7) = 1/75.$$



**Figure 3 : Propositions reçues**

La figure 3 représente les points de référence (*aspiration*, *exigence*, *ideal* et *antiIdeal*) et les premières propositions. La proposition  $b^1_4 = (85,20)$  est la meilleure avec  $\text{deviation}(a, b^1_4) = 0.4$ .

Les niveaux d'exigence de la deuxième étape sont calculés à l'aide de la relation (5)

$$e^2_1 = 80 - (0.4 - \epsilon) / \lambda_1 = 53$$

$$e^2_2 = 50 - (0.4 - \epsilon) / \lambda_2 = 22.25.$$

| $t$ | $e^t$        | $\text{dev}(a, e^t)$ | vendeurs              | $m^t$   | $\text{dev}(a, m^t)$ |
|-----|--------------|----------------------|-----------------------|---------|----------------------|
| 1   | (20,5)       | 0.82                 | $V_1 V_2 V_3 V_4 V_5$ | (85,20) | 0.4                  |
| 2   | (53, 22.2)   | 0.37                 | $V_1 V_3 V_4 V_5$     | (75,40) | 0.13                 |
| 3   | (72.5, 42.3) | 0.10                 | $V_1 V_3 V_4$         | (73,45) | 0.096                |
| 4   | (75.2, 45)   | 0.066                | $V_3, V_4$            | (77,46) | 0.053                |
| 5   | (78,48)      | 0.023                | $V_3$                 |         |                      |

**Tableau 2 : Etapes de l'enchère**

Les enchères se déroulent en 5 étapes et se terminent sur un accord avec le vendeur  $V_3$  pour la proposition  $b = (77,46)$ . Le tableau 2 présente la suite des points d'exigence (colonne  $e^t$ ) ainsi que les meilleures propositions (colonne  $m^t$ ).

## Interprétation

L'enchère peut être interprétée en considérant les meilleures propositions de chaque vendeur (voir Tableau 3) et les points d'exigence successivement définis (voir Tableau 2).

A chaque étape  $t$ , un vendeur peut fournir une proposition quand sa meilleure proposition est meilleure que le point d'exigence  $e^t$  (équivalent à  $\text{deviation}(a, m(v_i)) \leq \text{deviation}(a, e^t)$ ). A la première étape, tous les vendeurs peuvent répondre. Le vendeur  $V_2$  abandonne à l'étape 2 quand  $\text{deviation}(a, e^2) = 0.37 < 0.38$ . Le vendeur  $V_5$  abandonne à l'étape 3 quand  $\text{deviation}(a, e^3) = 0.10 < 0.13$ , le vendeur  $V_1$  à l'étape 4 et le vendeur  $V_4$  à l'étape 5.

Le vendeur  $V_3$  gagne l'enchère avec une proposition qui est légèrement meilleure que la meilleure du vendeur  $V_4$ .

| vendeur $v_i$ | meilleure proposition $m(v_i)$ | $\text{deviation}(a, m(v_i))$ |
|---------------|--------------------------------|-------------------------------|
| $V_1$         | (74, 50)                       | 0.08                          |
| $V_2$         | (52, 52)                       | 0.38                          |
| $V_3$         | (83, 60)                       | -0.04                         |
| $V_4$         | (76, 48)                       | 0.055                         |
| $V_5$         | (70, 57)                       | 0.13                          |

**Tableau 3 : Meilleure proposition des vendeurs**

## 5. Expérimentations

Nous présentons dans cette section cinq expérimentations mettant en concurrence 7 agents vendeurs et portant sur un produit  $P$  décrit par 5 critères  $c_1, c_2, c_3, c_4$  et  $c_5$  (voir Tableau 4). Chaque expérimentation comprend deux sortes d'enchères : enchères basées sur le modèle à points de référence et enchères basées sur le modèle de la somme pondérée. A chaque expérimentation sont donc associés un point d'aspiration  $a_i$  et un vecteur de poids  $Poids_i$  où les poids sont calculés au prorata de la valeur du niveau d'aspiration correspondant  $a_i$ . Le résultat des enchères donne la proposition gagnante. La comparaison des deux modèles s'effectue par évaluation de la proposition gagnante par rapport aux deux modèles (La colonne 3 comprend la déviation par rapport au niveau d'aspiration associé  $a_i$ ; la colonne 4 comprend l'évaluation de la proposition gagnante en fonction du vecteur poids associé  $Poids_i$ ).

Nous remarquons que chaque modèle apporte la meilleure proposition pour la méthode d'évaluation des propositions qu'il considère : une proposition gagnante obtenue avec le modèle des points de référence est plus proche du point d'aspiration que la proposition gagnante obtenue avec le modèle de la somme pondérée, mais obtient une moins bonne évaluation avec la somme pondérée. Toutefois, les résultats obtenus avec des poids équilibrés font bien ressortir le manque d'équilibre de la proposition gagnante lorsque l'on utilise le modèle de la somme pondérée. En

revanche, la proposition gagnante avec le modèle des points de référence fait apparaître une solution équilibrée sur les cinq critères.

| Préférence                                       | Gagnante                | Déviaton | Utilité |
|--------------------------------------------------|-------------------------|----------|---------|
| a <sub>1</sub> (80, 45, 35, 60, 54)              | (73, 33, 32, 52, 75)    | 0.17     | 11.28   |
| Poids <sub>1</sub> (0.3, 0.16, 0.12, 0.22, 0.2)  | (55.5, 100, 10, 70, 65) | 0.7      | 11.54   |
| a <sub>2</sub> (45, 80, 60, 25, 43)              | (47, 90, 62, 27, 75)    | -0.02    | 13.31   |
| Poids <sub>2</sub> (0.18, 0.31, 0.24, 0.1, 0.17) | (7, 85.5, 90, 80, 60)   | 1        | 13.84   |
| a <sub>3</sub> (20, 20, 20, 20, 20)              | (60, 60, 55, 44, 47)    | -0.7     | 10.72   |
| Poids <sub>3</sub> (0.2, 0.2, 0.2, 0.2, 0.2)     | (20, 75, 90, 80, 60)    | -0.28    | 12.5    |
| a <sub>4</sub> (50, 50, 50, 50, 50)              | (52, 55, 58, 65, 51)    | -0.02    | 10.8    |
| Poids <sub>4</sub> (0.2, 0.2, 0.2, 0.2, 0.2)     | (20, 75, 90, 80, 60)    | 0.29     | 12.5    |
| a <sub>5</sub> (80, 80, 80, 80, 80)              | (60, 45, 42, 45, 75)    | 0.61     | 12.55   |
| Poids <sub>5</sub> (0.2, 0.2, 0.2, 0.2, 0.2)     | (20, 75, 90, 80, 60)    | 1.36     | 12.5    |

**Tableau 4 : Résultats empiriques**

## 6. Conclusions et perspectives

Nous avons présenté dans cet article un mécanisme de négociation multicritère pour le commerce électronique basé sur des points d'aspiration et d'exigence. Le point d'aspiration exprime les valeurs souhaitées sur chaque attribut décrivant le produit à acheter. Un point d'exigence représente les valeurs minimales acceptables sur chaque critère d'une proposition. La méthode d'agrégation multicritère utilise la définition d'une déviation au point d'aspiration pour classer les propositions.

Une enchère est conduite par des points d'exigence. La définition des points d'exigence force les agents vendeurs à améliorer leur proposition sur tous les critères sans compensation possible. Elle assure la progression de l'enchère vers le point d'aspiration de l'acheteur, ainsi que l'amélioration graduelle des propositions jusqu'à la fin de l'enchère. Elle permet, en outre, à l'agent acheteur de maintenir privé son point d'aspiration et son modèle d'agrégation.

Cependant, la définition des niveaux d'aspiration est déterminante dans la conduite des enchères et une limitation apparaît quand le point d'aspiration défini par l'acheteur se trouve loin des propositions réelles du marché. La proposition gagnante reste alors éloignée du point d'aspiration. Dans ce cas, il vaudrait mieux laisser à l'acheteur la possibilité de reformuler son point d'aspiration. Une autre alternative serait de prévoir une phase de prospection précédant les enchères afin d'aider l'acheteur dans la formulation de son point d'aspiration en fonction de l'offre du marché.

## Bibliographie

- [1] Aknine S., Bellosta M.J., Hamdouni K., Kornman S., Pinson S., « A many-to-many negotiation protocol for electronic commerce with risk commitment strategies », *International Conference on Electronic Commerce Research (ICECR-5)*, 2002.
- [2] Ardisson L., Goy A., Petrone G., Segnan M., Console L., Lesmo C., Simone C., Torasso P., « Agents technologies for the development of adaptive Web stores », *Lecture Notes in Computer Science*, 2001.
- [3] Benameur H., Chaib-draa B., Kropf P.G., « Multi-item auctions for automatic negotiation », *Journal of Information and Software Technologies*, vol 44, N°5, 2002, p. 165-176.
- [4] Bichler M., « An experimental analysis of multi-attribute auctions », *Decision Support Systems*, vol 29, issue 3, octobre, 2001, p. 249-268.
- [5] Bichler M., Kaukal M., Segev A., « Multi-attribute auctions for electronic procurement », *Proceedings of the First iac Workshop on Internet Based Negotiation Technologies*, 1999.
- [6] Chavez A., Maes P., « Kasbah : An agent marketplace for buying and selling goods », *Proceedings of the First International Conference on the Practical Application of Intelligent Agents and Multi-Agent Technology (PAAM'96)*, Londres, Grande Bretagne, 1996, p. 75-90.
- [7] De Vries S., Vohra R., « Combinatorial auctions: A survey », *INFORMS Journal on Computing*, 2003.
- [8] Faratin P., Sierra C., Jennings N.R., « Negotiation decision functions for autonomous agents », *Robotics and Autonomous Systems*, vol 24, Issues 3-4, 30 septembre 1998, p. 159-182.
- [9] Guttman R.H., Moukas A.G., Maes P. « Agent-Mediated Electronic Commerce : A survey », *Knowledge Engineering Review*, Australie, juin 1998.
- [10] Jennings N.R., Faratin P., Lomuscio A.R., Parsons S., Sierra C., Wooldridge M., « Automated negotiation : prospects, methods and challenges », *Int. J. of Group Decision and Negotiation*, vol 10, N°2, 2001, p. 199-215.
- [11] Jennings N.R., Sierra C., Faratin P., « Negotiation Decision Functions for Autonomous Agents », *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 24, Issues 3-4, 30 septembre 1998, p. 159-182.
- [12] Lee K.Y., Yun J.S., Jo G.S. « MoCAAS: auction agent system using a collaborative mobile agent in electronic commerce », *Expert Systems with Applications*, vol 24, Issue 2, février, 2003, p. 183-187.
- [13] Morris J., Maes P., « Sardine : An agent-facilitated Airline Ticket Bidding System », *Fourth International Conference on Autonomous Agents (Agents 2000)*, Barcelone, Espagne.
- [14] Oliveira E., Fonseca J.M., Steiger-Garçao A., « Multi-criteria negotiation in Multi-Agent Systems », *The First International Workshop of Central and Eastern Europe on*

*Multi-agent Systems (CEEMAS'99)*, St. Petersburg, juin, 1999.

- [15] Parkes D.C., Ungar L., « Preventing strategic manipulation in iterative auctions : Proxy-agents and price-adjustment », *Proceedings of AAAI*, août 2000, p. 82-89.
- [16] Sandholm T.W., « Approaches to winner determination in combinatorial auctions », *Decision Support Systems*, vol 28, N°2, 2000, p. 165-176.
- [17] Steuer R.E., « Multiple criteria optimisation: theory, computation and application », *Wiley*, New York, 1986.
- [18] Vanderpooten D., Vincke P., « Description and analysis of some representative interactive multicriteria procedures », *Mathl. Comput. Modelling*, vol 12, N°10-11, 1989, p. 1238-1989.
- [19] Vallin P., Vanderpooten D., « Aide à la décision : une approche par les cas ». *Ellipses*, Paris, 2000. Note: 2e édition, 2002.
- [20] Vickrey W., « Counterspeculation auctions and competitive sealed tenders », *Journal of finance*, vol 16, 1961, p. 8-37.
- [21] Vulkan N., Jennings N.R., « Efficient mechanisms for the supply of services in multi-agent environments », *Decision Support Systems*, vol 28, Issues 1-2, mars 2000, p. 5-19.
- [22] Wurman P.R., Wellman M.P., Walsh W.E. , « Specifying rules for electronic Auctions », *AI Magazine*, vol 23, N°3, 2002.