HAL
open science

Négociation bilatérale par concession : un état de l'art

M. Morge

To cite this version:

M. Morge. Négociation bilatérale par concession : un état de l'art. Vingt-sixièmes journées francophones sur les systèmes multi-agents (JFSMA), Oct 2018, Métabief, France. pp.75-84. hal-01893204

HAL Id: hal-01893204

https://hal.science/hal-01893204v1

Submitted on 11 Oct 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Négociation bilatérale par concession : un état de l'art

M. Morge
maxime.morge@univ-lille.fr

Univ. Lille, CNRS, Centrale Lille, UMR 9189 - CRIStAL - Centre de Recherche en Informatique Signal et Automatique de Lille, F-59000 Lille, France

Résumé
Les conflits constituent une caractéristique intrinsèque des systèmes multi-agents qui peut être résolu par la négociation. Cet article présente un état de l'art de la négociation multi-agents en mettant l'accent sur sa variante la plus élémentaire : la négociation bilatérale par concession. Nous fournissons ici une grille d'analyse qui distingue : i) l'environnement de négociation (objectifs, parties prenantes, protocole et stratégies) ; ii) les propriétés attendues du résultat ; et iii) celles du processus.

Mots-clés : *Intelligence artificielle, Système mutli-agents, Gestion des conflits, Négociation*

Abstract
Conflicts are intrinsic characteristics of multi-agent systems which can be solved by negotiation. This paper presents a state of the art on multi-agent negotiation by focusing on its most elementary variant : bilateral concession-based negotiation. We provide an analysis grid based on : i) the negotiation environment (object, stakeholders, protocol and strategies) ; ii) the expected properties of the outcome ; and iii) those of the process.

Keywords: *Artificial Intelligence, Multi-agent systems, Conflict handling, Negotiation*

1 Introduction

Un système multi-agents (SMA) est composé d'entités autonomes qui interagissent entre elles pour résoudre une problème. Il se caractérise par le fait que : (i) chaque agent a des informations incomplètes voire des capacités limitées ; (ii) il n' y a pas de le contrôle global du système ; (iii) les données sont décentralisées ; et (iv) les calculs sont asynchrones. Les conflits en constituent une caractéristique intrinsèque. Alors que les conflits épistémiques portent sur des croyances, les conflits pratiques sont relatifs à des actions. Nous nous focalisons ici sur ces derniers. Même s'ils sont en compétition, des agents avec des intérêts contradictoires, i.e. ne pouvant pas être pleinement satisfait simultanément, doivent collaborer pour atteindre leurs objectifs. À cette intention, ils peuvent négocier. Ce type d'interaction vise des accords mutuels qui portent sur une allocation de tâches/ressources, un appariement ou une décision collective. La négociation peut être considéré comme une « recherche distribuée dans un espace d'accords potentiels » [22]. C'est le « processus par lequel une décision conjointe est prise par deux parties ou plus qui verbalisent des revendications contradictoires et se dirigent vers un accord par un processus de concession ou de recherche de nouvelles alternatives » [42].

Cet article contribue à l'étude de la négociation multi-agents. Comme nous le verrons ici, les occasions de complexifier le processus de négociation sont multiples (multi-parties, multi-attributs, argumentation, représentation des préférences). Nous mettons ici l'accent sur les négociations bilatérales par concession où deux agents échangent des offres pour parvenir à un accord sur une variable unique. Nous nous concentrons sur cette forme simple de négociation et non pas sur les extensions plus récentes [53] pour deux raisons. D'une part, nous appliquons ici le rasoir d'Occam et nous nous concentrons sur les ingrédients les plus fondamentaux pour étudier le cœur de la négociation multi-agents et les conséquences des hypothèses formulées dans les travaux existants. D'autre part, même si le cadre est minimal, cette configuration s'adresse, d'un point de vue pratique, à un grand nombre de scénarios. Le but de cet article est d'établir un état de l'art en fournissant une grille d'analyse inspirée par [51, 35, 22, 32, 40, 14]. Cette grille nous permet de classer les travaux existants en fonction de l'environnement de négociation, c'est-à-dire les ingrédients utilisés (objet, parties prenantes, protocole et stratégies), et selon les propriétés exhibées par le résultat (i.e. l'optimalité) ou le processus (stabilité, complexité, décentralisation, etc.). La question abordée dans cette étude est la suivante : « Quels sont les mécanismes opérationnels qui doivent être mis en place pour

la négociation ? ». Cette question n'est pas seulement abordée d'un point de vue mathématique, c'est-à-dire en mettant l'accent sur l'existence de stratégies qui exhibent des propriétés formelles, mais d'un point de vue computationnel et pratique.

Cet article est organisé comme suit. Nous commençons par définir la négociation multi-agents et nous évoquons ses objectifs (cf. Section 2). Dans la section 3, nous fournissons un inventaire des différentes configurations possibles. Ensuite, nous verrons comment le résultat et le processus peuvent être évalués (cf. Sections 4 et 5). Enfin, nous résumons la littérature (cf. Section 6) et nous dressons un bilan (cf. section 7).

2 Objectifs

La majorité des modèles informatiques de négociation n'explorent qu'un nombre restreint de dimensions et d'étapes envisagées par les sciences humaines et sociales [19, 33]. Les modèles informatiques se limitent à la recherche d'un accord, i.e. au « processus grâce auquel plusieurs parties prenantes aboutissent à une décision collective en verbalisant leurs demandes et convergent vers un accord par succession de concessions ou recherche de nouvelles alternatives » [42]. Ainsi, la pré-négociation (détection des conflits, définition de l'agenda et de l'objet, etc.) et l'après-négociation (évaluation, sanctions, etc.) sont écartés [33].

La négociation intervient dans des situations où les agents sont en compétition pour satisfaire leur but mais où ils doivent également collaborer [48]. Ainsi, la situation initiale est un conflit d'intérêt mêlé à un besoin de coopération. Le but est de réaliser un échange ou de conclure une affaire, i.e. trouver un compromis attractif pour les participants. Chacun d'eux souhaite maximiser son gain via un échange de concessions.

L'émergence de la problématique de gestion des conflits dans la littérature en Informatique, en particulier en Intelligence Artificielle, a deux raisons majeures [4] : d'une part pour la conception de systèmes distribués ; d'autre part pour la résolution des conflits entre humains.

La négociation est un processus coûteux en temps et en énergie, ce qui peut avoir un impact négatif sur son résultat. À cette intention, les **systèmes d'aide à la négociation** vise à réduire l'effort cognitif des parties prenantes dans l'exploration des possibles. Ce sont des logiciels qui implémentent des modèles et des processus pour soutenir la négociation, comme le système Inspire [26]. Dans cette perspective, [24] distingue : les agents assistants qui médiatisent la négociation humaine de manière passive et les agents logiciels auxquels les humains délèguent (au moins partiellement) une partie du processus. Parmi ces systèmes de **négociation automatique**, les enchères électroniques ont largement été étudiées [40].

La négociation a également été utilisée pour la résolution distribuée de problème [28]. Cette forme d'interaction permet de coordonner des entités faiblement couplées ayant un but commun dans la recherche d'une solution [9], comme dans [11].

En résumé, les agents qui négocient pour la résolution distribuée de problème sont coopératifs : ils ont un but commun qui prime sur leur intérêt individuel. À l'inverse, dans les systèmes de négociations automatiques, les agents favorisent leur intérêt individuel, ils sont dits « égoïstes ».

3 Conception

Afin d'analyser, de concevoir et d'implémenter un système de négociation, nous identifions les ingrédients essentiels de la négociation : i) l'objet de la négociation, c.-à-d. l'ensemble des résultats potentiels ; ii) les parties prenantes, c.-à-d. les agents ayant leurs propres objectifs/préférences éventuellement conflictuels ; iii) le protocole d'interaction, c.-à-d. les règles qui régissent les échanges verbaux ; iv) les stratégies individuelles, c.-à-d. le comportement des agents.

3.1 Objet de négociation

L'objet de négociation est le sujet sur lequel porte les échanges. On peut distinguer :

- la négociation d'un appariement entre agents pour associer les agents les uns avec les autres [16] ;
- la négociation de tâches/ressources qui vise à établir une (ré-)allocation au sein du groupe d'agents dont les coûts/bénéfices sont évalués individuellement [12, 36] ;
- la prise de décision collective où les agents essayent de sélectionner conjointement un candidat, un plan d'action ou un ensemble de buts mutuellement acceptables [10].

L'espace des résultats possibles, appelés également accords, est une variable ou un ensemble de

variables discrètes ou continues. L'ensemble des accords potentiels est l'ensemble non-vide des alternatives réelles. Toutes les valeurs possibles de l'espace des accords ne sont pas nécessairement des solutions existantes. Pour au moins deux attributs, on parle de **négociation multi-attributs** et de **négociation mono-attribut** sinon. L'objet de négociation peut s'avérer plus complexe et nécessiter un langage logique pour représenter les accords potentiels [41].

Dans la suite de cet article, nous nous focalisons sur la **négociation distributive**, dont le but est d'atteindre un accord optimal dans un ensemble des accords qui est fixe, plutôt que sur la **négociation intégrative** qui consiste à créer un accord quitte à inventer de nouvelles alternatives au cours du processus [25].

3.2 Parties prenantes

Les parties prenantes (en anglais, *stakeholder*) peuvent être deux ou plus. On parle de **négociation bilatérale** ou de **négociation multi-parties** respectivement. De par la nature compétitive de la négociation, les agents évaluent de manière individuelle et éventuellement contradictoire les accords potentiels [1].

Préférences cardinales. Une première approche consiste à capturer les penchants à l'aide d'une fonction d'utilité voire d'une valeur de réserve, i.e. le seuil au dessus duquel l'agent est prêt à négocier. L'introduction d'une date butoir après laquelle le résultat est un désaccord permet de réduire la durée de la négociation [30, 29, 15, 17, 47, 13, 5]. Afin de modéliser le fait que les agents sont moins satisfaits quand le processus est long, la plupart des travaux introduisent un taux de réduction.

Quand l'objet de négociation est multi-attributs, les fonctions d'utilité le sont également. [23] introduit la fonction d'utilité additive, i.e. une somme pondérée d'utilités pour chaque critère. Cela suppose que les préférences sur les attributs sont indépendants. Dans le cas contraire, la fonction k-additive capture la synergie entre attributs en évaluant l'utilité de chaque alternative comme la somme des utilités de chaque caractéristique plus la valeur de dépendance préférentielle entre plusieurs caractéristiques [18]. D'une manière plus générale, l'approche hypercube pondérée [21] permet de représenter n'importe quelle fonction d'utilité multi-attributs définie sur des domaines discrets.

1. [39] propose un état de l'art sur la modélisation des préférences.

Préférences ordinales. Pour représenter les penchants d'un agent, une seconde approche consiste à employer une relation de préférence qui permet de comparer les alternatives les unes aux autres ainsi que le désaccord. Une relation de préférence est binaire et transitive [2]. Ainsi, un agent rationnel cherche à sélectionner une alternative optimale ou non-dominée si la relation de préférence est partielle.

Dans un graphe de préférence, les sommets sont des alternatives et les arcs matérialisent les préférences entre elles. Quand l'objet de négociation est multi-attributs, la représentation de ce graphe devient coûteuse. Par exemple, 10 attributs et 10 valeurs pour chaque attribut nécessitent 10 milliards de nœuds. Toutefois, l'hypothèse de l'indépendance des préférences sur les critères est souvent rejetée au profit de celle moins forte du *Ceteris Paribus* [2]. Ainsi, les CP-nets constituent un modèle graphique pour la représentation compacte des préférences [7]. Plus spécifiquement, les graphes d'utilité [43] et les langages de préférences d'enchères [8] sont des représentations compactes pour la négociation de ressources.

En résumé, les fonctions d'utilité constituent un modèle cardinal et quantitatif des préférences, alors que la relation de préférence est un modèle ordinal et qualitatif. Les préférences cardinales subsument les préférences ordinales.

3.3 Protocole d'interaction

Un protocole d'interaction un ensemble de règles partagées par les agents auxquelles les interactions doivent se conformer [3]. Pour la négociation, ce sont les « règles de la confrontation » (*rules of encounter*).

Le **protocole d'offres alternées** [37, 45, 50], vise à allouer une ressource divisible. À chaque tour de négociation, un agent propose une alternative et son interlocuteur peut soit accepter, soit refuser cette offre. Dans le premier cas, la négociation se termine avec succès sur un accord. Sinon, la proposition n'est plus valable et les rôles sont inversés au tour suivant : le second agent propose et le premier dispose. La négociation se poursuit jusqu'à ce qu'un accord soit atteint. On peut remarquer que ce protocole est asymétrique : l'un des agents initie le processus.

2. Toutes choses étant égales par ailleurs.

3. Dans la littérature, le terme de protocole est parfois employé comme synonyme de mécanisme ou de processus. Nous distinguons ici l'aspect normatif (le protocole) et l'aspect individuel (les stratégies) du processus.

Ce protocole a été généralisé pour la négociation multi-parties [29].

Le **protocole de concession monotone** [44] est un version simultanée du précédent qui permet de ré-allouer un ensemble de tâches. À chaque tour, chaque agent propose une allocation de tâches. Un accord est atteint si l'une des offres correspond ou dépasse (en terme d'utilité) ce que l'autre demande. Si les deux offres correspondent ou dépassent la demande, l'accord peut être sélectionné de manière pseudo-aléatoire. En cas de désaccord, un autre tour se déroule où chaque agent n'est pas autorisé à offrir à l'autre agent moins (en terme d'utilité) qu'il ne l'a fait au tour précédent. Il peut soit rester ferme, c.-à-d. proposer la même utilité à son interlocuteur, soit concéder, c.-à-d. proposer une meilleure alternative (en terme d'utilité) pour l'interlocuteur. Si aucun des agents ne concède, alors la négociation se termine et l'allocation de tâche reste inchangée. Une concession consiste donc en un pas vers son interlocuteur. Contrairement au protocole précédent, celui-ci nécessite que chaque agent connaisse la fonction d'utilité de son interlocuteur pour déterminer les coups autorisés. De plus, il est symétrique : aucun agent ne joue le rôle de l'initiateur.

En résumé, on distingue des protocoles simultanés, où les offres sont soumises de manière concurrentes, des protocoles dynamiques, où les agents prennent la parole chacun à leur tour. De plus on distingue les protocoles symétriques où tous les agents jouent le même rôle des protocoles asymétriques où les rôles des participants peuvent être différents.

3.4 Stratégie

La stratégie interface les préférences de l'agent et le protocole afin de générer l'offre initiale, des contre-offres et évaluer celles reçues. La stratégie définit le comportement de l'agent à chaque point de choix en déterminant les messages émis en conformité au protocole. Elle est spécifique à l'environnement de négociation (objet, préférences, protocole et connaissances *a priori*).

Pour étudier les stratégies de négociation, on distingue trois approches. La **théorie des jeux** propose des modèles théoriques abstraits dont les propriétés sur les accords (cf section 4) et sur les processus (cf section 5) sont prouvées formellement. À l'inverse, l'**approche heuristique** propose des modèles qui s'appuient sur des hypothèses réalistes (e.g. rationalité limitée), qui sont évalués empiriquement, et mises en œuvre dans des applications pratiques. Finalement, l'**approche argumentative**, où les agents échangent des offres et des arguments, est hors de la portée de cet article.

Théorie de jeux. La stratégie de Zeuthen [44] permet d'illustrer cette approche. Selon cette stratégie, qui interface une fonction d'utilité avec le protocole de concession monotone, un agent qui a déjà concédé a moins à perdre en cas de désaccord qu'un agent qui a fait moins de concessions. le facteur de risque de Zeuthen [52] évalue la propension d'un agent à risquer le désaccord. Il correspond au rapport entre sa perte maximale d'utilité s'il concède et sa perte d'utilité en cas de désaccord. Ainsi, la négociation débute par l'offre préférée. Ensuite, tant que la négociation n'est pas terminée, un agent calcule à chaque tour son facteur de risque et celui de son opposant. Si son facteur de risque est inférieur ou égal à celui de son opposant, alors il effectue une concession minimale suffisante. Sinon, il réitère son offre précédente. Par concession minimale suffisante, on désigne l'offre qui fera basculer au prochain tour l'ordre entre les facteurs de risque (en supposant que l'opposant restera ferme) tout en transférant le moins d'utilité à l'opposant. Ainsi, une négociation entre deux agents qui adoptent cette stratégie consiste en une alternance de concession minimale. On peut remarquer que cette stratégie suppose que l'agent dispose d'une information parfaite, c.-à-d. qu'il connaisse les préférences de son interlocuteur.

Un grand nombre de stratégies ont été proposées pour la négociation bilatérale mono-attribut. Bien qu'elles s'appuient toutes sur le principe de concession selon lequel l'agent doit réduire ses prétentions au fur et à mesure des échanges, toutes ces variantes correspondent à des environnements de négociation différents :

- [15] propose une stratégie pour le protocole d'offres alternées où chaque agents a une information incomplète sur l'opposant ;
- [17] suppose que chaque agent a un taux de réduction, une valeur de réserve et une date butoir qui lui est propre dans une situation asymétrique : l'un des agents ne connaît pas la date butoir de son opposant ;
- [45] considère un processus sans date butoir avec information parfaite puis avec information imparfaite dans [46] ;
- [47] s'appuie sur une version continue du protocole, i.e. chaque agent peut soumettre une

offre à tout moment et où chaque agent a sa propre date butoir.

Le résultat d'une négociation dépend non seulement de la stratégie et des préférences des agents mais également du protocole et de l'information dont disposent les agents [20].

Approche heuristique. Dans l'approche heuristique, les fonctions de décision introduites par [13] sont fondatrices. C'est une version continue du protocole d'offres alternées avec une date butoir qui est considérée. Alors que les offres reçues sont évaluées par des fonctions d'utilité multi-attributs, les offres sont générées à partir d'une combinaison linéaire de fonctions simples, appelées tactiques. Une tactique calcule la valeur d'un attribut (le prix, la quantité, la qualité, etc.) en fonction d'un critère. Ainsi, trois familles de tactiques sont suggérées :

- les tactiques temporelles qui déterminent quand un agent doit concéder ;
- les tactiques qui contraignent les offres en fonction des ressources disponibles ;
- les tactiques imitatives qui déterminent le comportement de l'agent en fonction de celui de son opposant.

Selon la fonction de concession d'une tactique temporelle, un agent débute la négociation en proposant une valeur maximale (ou minimale si l'utilité décroît avec la valeur de l'attribut) puis concède jusqu'à atteindre à la date butoir la valeur de réserve. Cette fonction est paramétrée. Une fonction polynomiale concède initialement plus vite qu'une fonction exponentielle. Ainsi, on distingue deux tactiques temporelles :

- la tactique *Boulware* [4] qui consiste à rester sur ses positions jusqu'à la date butoir pour y proposer sa valeur de réserve ;
- la tactique *Conceder* qui consiste à concéder rapidement.

Selon la fonction de concession réciproque, l'agent reproduit proportionnellement le comportement de son opposant. Cette fonction peut être raffinée pour être pseudo-aléatoire ou lissée en prenant en compte le comportement de l'opposant dans une fenêtre temporelle.

S'inspirant de ces travaux, la compétition annuelle ANAC, réalisée avec la plate-forme GENIUS [31] (*General Environment for Negotiation with Intelligent multi-purpose Usage Simulation*), confronte depuis 2011 des agents dans des négociations bilatérales multi-attributs au travers d'un environnement aussi réaliste que possible. Contrairement à la grande majorité des stratégies de négociation, la stratégie de négociation proposée dans [3] est basée sur un modèle de préférences qualitatif et ordinal : un CP-net [7].

En résumé, une stratégie est constituée de trois composants :

1. une règle d'acceptabilité qui décide si une offre est admissible ;
2. une stratégie d'offre qui détermine la concession en fonction des préférences, de l'historique et éventuellement d'une valeur de réserve, du temps et du modèle d'opposant (si disponible) ;
3. éventuellement une stratégie d'apprentissage ou d'adaptation qui s'appuie sur un modèle d'opposant.

4 Accord

Afin d'évaluer la qualité d'un accord, nous considérons le critère de Pareto puis la théorie du choix social.

4.1 Optimalité de Pareto

Le critère de Pareto compare les alternatives du point de vue d'un groupe d'agents en conflits. Une alternative x domine au sens de Pareto une alternative y pour un groupe d'agents si x est au moins aussi bien que y pour tous les agents et qu'au moins un agent préfère strictement x à y. Une alternative est considérée comme optimale au sens de Pareto si elle n'est pas dominée au sens de Pareto. En d'autres termes, une alternative n'est pas optimale s'il en existe une meilleure pour un agent sans qu'elle ne soit pire pour aucun des autres. On peut remarquer que la relation de dominance est une relation de préordre (réflexive et transitive), éventuellement partielle. L'existence d'une alternative optimale au sens de Pareto est garantie.

Le caractère compétitif d'une négociation peut être évalué a priori en fonction du profil (des préférences) des agents. La distance entre alternatives est définie par une métrique, i.e. un fonction définie positive qui est symétrique et sous-additive. Si l'alternative optimale au sens de Pareto dans l'espace des accords est unique, le taux d'opposition est la distance minimale entre les alternatives de l'ensemble des accords et celle-ci (n'étant pas nécessairement une alternative possible). Sinon, le taux d'opposition est

4. Le nom de cette stratégie semble provenir d'une incompréhension de la stratégie « à prendre ou à laisser » promue par [6].

mesuré par la distance moyenne vis-à-vis de la frontière de Pareto, i.e. l'ensemble des alternatives optimales dans l'espace des accords. [27] définit le taux d'opposition par le gradients des utilités.

Le critère de Pareto suppose un minimum d'hypothèse sur les préférences individuelles mais débouche sur un classement partiel des alternatives. La posture Parétienne, selon laquelle la satisfaction ne peut se comparer d'un individu à un autre, est largement adoptée [1].

4.2 Bien-être social

Contrairement à l'approche Parétienne, la théorie du choix social réhabilite l'analyse des comparaisons interpersonnelles [49]. Cette théorie réconcilie l'utilitarisme de Jeremy Bentham et la justice distributive prônée par John Rawls [34].

Les fonctions de choix social agrègent les utilités des individus. Alors que maximiser le bien-être utilitaire (la somme des utilités) vise à satisfaire la société dans son ensemble, maximiser le bien-être égalitaire (l'utilité minimale) consiste à réduire les inégalités dans la population, i.e. améliorer la satisfaction de l'agent le moins bien doté. Maximiser le bien-être de Nash (le produit des utilités) est un compromis entre ces deux règles de décision collective. Une alternative qui maximise le bien-être utilitaire ou le bien-être de Nash est optimale au sens de Pareto.

5 Processus

Nous proposons ici des critères pour évaluer un processus de négociation qui comprend un environnement (objet, préférences, protocole, contraintes temporelles et connaissances *a priori*) et des stratégies.

Rationalité individuelle. Les agents doivent être incités à participer à la négociation. Une négociation est individuellement rationnelle pour un agent s'il préfère un accord à un désaccord. Un négociation individuellement rationnelle doit l'être pour tous les agents.

Stabilité. Un protocole est stable s'il incite les agents à se comporter d'une manière particulière. Par exemple, l'équilibre de Nash est une situation dans laquelle chaque agent connaît les stratégies des autres agents et aucun agent n'a intérêt à modifier sa propre stratégie. En d'autres termes, aucun joueur ne peut faire mieux en changeant unilatéralement sa stratégie. L'existence d'un équilibre de Nash n'est pas garantie et il n'est pas nécessairement optimal au sens de Pareto. La notion d'équilibre de Nash a été étendue aux jeux dynamiques qui modélisent plus fidèlement les négociations qui s'appuient sur le protocole d'offres alternées. On parle alors d'équilibre parfait en sous-jeu et d'équilibre séquentiel [38].

Distribution. Un processus de négociation est distribué s'il ne nécessite pas un point central qui collecte les offres (on parle alors de médiateur) voire qui calcule l'accord (on parle alors d'arbitre). Cette situation est souhaitable pour éviter les éventuelles pannes du point central et les goulots d'étranglement.

Complexité algorithmique. Un processus de négociation est dit « simple » si le calcul de la stratégie optimale est tractable.

Complexité communicationnelle. Un processus de négociation est dit « bref » si le nombre d'offres échangées pour atteindre un accord est restreint. De plus, l'appel à la cantonade (*broadcasting*) n'est pas souhaitable.

Garantie de succès. Un processus de négociation est garanti de succès si quelles que soient les préférences des agents, un accord est atteint.

6 Synthèse

Comme nous l'avons vu, les occasions de complexifier la négociation sont multiples (multiparties, multi-attributs, argumentation, hypothèses sur les préférences des agents). Nous nous sommes focalisés ici sur la négociation bipartie mono-attribut à base de concessions, où les échanges se réduisent en une séquence d'offres et de contre-offres.

Les tableaux 1 et 2 synthétisent l'ensemble des travaux évoqués ici selon notre grille d'analyse. Sans être exhaustifs, ces tableaux présentent des travaux emblématiques du domaine. Par souci de clarté, nous avons restreint notre revue de la littérature aux négociations bilatérales qui se basent soit sur des protocoles asymétriques (comme le protocole d'offres alternées) soit sur des protocole symétriques (comme le protocole de concession monotone) éventuellement dans leur version continue. Pour les mêmes raisons, nous nous sommes focalisés sur la négociation mono-attribut, même si [13, 15, 5, 3] concernent également les négociations multi-attributs. On peut remarquer que la plupart des travaux s'appuient sur des fonctions d'utilité (noté u), qu'elles prennent en compte (ou non)

un taux de réduction (noté δ) et/ou une valeur de réserve (notée θ) à l'exception de [3] qui s'appuie sur une relation de préférence (noté $\succsim$).

[44] montre que si les deux agents adoptent la stratégie de Zeuthen, alors l'accord maximise le produit des utilités et donc il est Pareto-optimal mais que cette situation n'est pas un équilibre de Nash [5]. Étant donné l'environnement de négociation défini dans [45], un équilibre parfait en sous-jeu est atteignable au premier tour. Dans son extension à information imparfaite [46], l'environnement possède un équilibre séquentiel. Étant donné que [15] étudient plusieurs environnements de négociation (mono/multi-attribut(s) à information parfaite/imparfaite) et plusieurs stratégies, nous ne pouvons résumer ici l'ensemble des résultats théoriques obtenus en terme de stabilité, d'efficacité et de complexité. Dans l'environnement de négociation envisagé par [17], deux stratégies mixtes mènent à deux situations d'équilibre distincts. La complexité algorithmique de la stratégie optimale est $\mathcal{O}(m.\gamma)$ où m est le nombre d'attributs et γ est la date butoir. D'une manière générale, dans l'environnement de négociation de [47], le seul équilibre séquentiel est atteint quand les agents attendent la première date butoir. Ainsi, la puissance de l'agent ne réside pas dans son calcul mais au contraire dans sa capacité d'attendre. Dans un environnement de négociation muni d'un taux de réduction, la solution n'est Pareto-optimale que si l'accord est immédiat, i.e. obtenu au premier tour, car sinon la ressource et donc la satisfaction des agents décroient. En théorie des jeux, on distingue les travaux mathématiques qui ne s'intéressent pas aux problèmes de complexité et les travaux Informatique qui intègrent les problèmes liés au calcul. L'approche heuristique adoptée dans [13, 5, 3] ne permet pas d'aboutir à des résultats formels (noté ND pour non déterminé), mais ces propriétés sont évaluées empiriquement. Finalement, la rationalité individuelle et la distribution sont des propriétés requises pour la négociation.

7 Conclusion

Nous avons proposé dans cet article une revue de l'état de l'art sur la négociation multi-agents en nous focalisant sur la variante la plus élémentaire : la négociation distributive, bilatérale, mono-attribut à base de concessions. Dans ce contexte, nous avons distingué les différents travaux existants à partir des différents environnements de négociation, i.e. :

1. l'objet de négociation ici restreint à un attribut discret ou continu ;
2. les préférences des agents qui sont modélisables par une relation de préférences ou par une fonction d'utilité, éventuellement associée à une valeur de réserve voire un facteur de réduction ;
3. le protocole de négociation qui peut être symétrique ou asymétrique, discret ou continu, voire associé à une date butoir ;
4. la connaissance *a priori* des agents vis-à-vis de leurs opposants qui peut être parfaite ou imparfaite.

Les stratégies de négociation sont adaptées à un environnement de négociation particulier. Outre la rationalité individuelle et la distribution qui sont des propriétés requises pour un processus de négociation, ils se distinguent de par leurs propriétés :

1. l'efficacité qui détermine si l'accord atteint est optimal au sens de Pareto voire s'il maximise un bien-être social ;
2. la stabilité qui détermine si les agents sont incités à se comporter d'une manière particulière ;
3. la complexité algorithmique et communicationnelle, i.e. la simplicité du calcul de la stratégie et le nombres d'échanges nécessaires à un accord.

Deux approches peuvent être adoptées pour la conception des stratégies d'agents. En théorie des jeux, l'environnement de négociation est restreint et les propriétés peuvent être prouvées formellement. Selon l'approche heuristique, l'environnement de négociation est réaliste et les propriétés son empiriquement évaluées.

Enfin, nous avons observé que le modèle des préférences qui est le plus largement utilisée est quantitatif et cardinal. Toutefois, la correction et la pertinence de la sémantique de la fonction d'utilité reste controversée en théorie de la décision et en théorie du choix social. D'abord, la représentation numérique de l'utilité mène à des opérations d'agrégation qui peuvent être mal interprétés. De plus, l'utilité suppose l'évaluation intrinsèque des alternatives plutôt que leur évaluation comparative [10]. Finalement, si un millier d'alternatives ont la même valeur d'utilité, ces alternatives sont représentées par la même satisfaction : la multiplicité des offres n'est pas capturée. Ce choix doit être questionné pour : i) l'élicitation des préférences individuelles dans

5. Nous ne considérons pas ici la stratégie étendue de Zeuthen.

	[45]	[46]	[44]	[47]	[15]	[17]
Agents	2	2	2	2	2	2
Objet	mono	mono	mono	mono	multi	mono
Préférences	u δ	u δ	u δ	u δ	u δ - θ	u δ
Protocole date butoire	asym. non	asym. non	sym. non	asym. continu oui	asym. oui	asym. oui
Connaissance	imparfaite	parfaite	parfaite	imparfaite	parfaite/imparfaite	imparfaite
Efficacité	non-Pareto	Pareto	Pareto - Nash	non Pareto	...	...
Équilibre	séquentiel	parfait	non	séquentiel	...	séquentiel
Complexité algorithmique	ND	ND	ND	$\mathcal{O}(1)$	...	$\mathcal{O}(m.\gamma)$
Complexité comm.	ND	ND	ND	$\mathcal{O}(1)$	...	$\mathcal{O}(\gamma)$
Rationalité individuelle	oui	oui	oui	oui	oui	oui
Distribution	oui	oui	oui	oui	oui	oui

TABLE 1 – Théorie des jeux

	[13]	[5]	[3]
Agents	n	2	2
Objet	multi	multi	multi
Préférences	u δ	u δ - θ	$\succsim$ δ - θ
Protocole date butoire	asym. continu oui	asym. continu oui	asym. continu non
Connaissance	imparfaite	imparfaite	imparfaite
Efficacité	ND	ND	ND
Équilibre	ND	ND	ND
Complexité algorithmique	ND	ND	ND
Complexité comm.	ND	ND	ND
Rationalité individuelle	oui	oui	oui
Distribution	oui	oui	oui

TABLE 2 – Approche heuristique

les systèmes de négociation automatique ; ii) la conception des systèmes de négociation automatique à base d'argumentation qui s'appuient sur des modèles qualitatifs.

Remerciements

Ce travail s'inscrit dans le projet de recherche PartENS soutenu par le programme chercheur-citoyen de la région Hauts-de-France et le projet CPER Data financé par l'union européenne, le fonds européen de développement régional et la région Hauts-de-France. Nous remercions Gregory E. Kersten et les relecteurs des JFSMA 2018 pour leurs remarques.

Références

[1] Arrow, K. J. (1951). *Social Choice and Individual Values*. Wiley & Sons.

[2] Arrow, K. J. (1958). Utilities, attitudes, choices : A review note. *Econometrica*, 26(1) :1–23.

[3] Aydogan, R., Baarslag, T., Hindriks, K. V., Jonker, C. M., and Yolum, P. (2013). Heuristic-based approaches for CP-nets in negotiation. In *Complex Automated Negotiations*, pages 113–123. Springer.

[4] Aydogan, R., Sanchez, V., Julian, V., Broekens, J., and Jonker, C. (2014). Guest editorial : computational approaches for conflict resolution in decision making : new advances and developments. *Cybernetics and Systems : An International Journal*, 45(3) :217–221.

[5] Baarslag, T., Fujita, K., Gerding, E. H., Hindriks, K., Ito, T., Jennings, N. R., Jonker, C., Kraus, S., Lin, R., Robu, V., and Williams, C. R. (2013). Evaluating practical negotiating agents : Results and analysis of the 2011 international competition. *Artificial Intelligence*, 198 :73–103.

[6] Boulware, L. (1969). *The Truth About Boulwarism : Trying to Do Right Voluntarily*. Bureau of National Affairs.

[7] Boutilier, C., Brafman, R. I., Domshlak, C., Hoos, H. H., and Poole, D. (2004). CP-nets : A tool for representing and reasoning with conditional ceteris paribus preference statements. *Journal of Artificial Intelligence Research (JAIR)*, 21 :135–191.

[8] Boutilier, C. and Hoos, H. H. (2001). Bidding languages for combinatorial auctions. In *Proc. of the 7th Proc. of International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI)*,

pages 1211–1217. Lawrence Erlbaum Associates LTD.

[9] Davis, R. and Smith, R. G. (1980). Negotiation as a metaphor for distributed problem solving. Technical Report AIM-624, Massachusetts Institute of Technology.

[10] Delecroix, F., Morge, M., Nachtergaelle, T., and Routier, J. (2016). Multi-party negotiation with preferences rather than utilities. *Multiagent and Grid Systems*, 12(2) :139–165.

[11] Durfee, E. H. and Lesser, V. R. (1989). *Distributed Artificial Intelligence*, volume 2, chapter Negotiating Task Decomposition and Allocation Using Partial Global Planning, pages 229–243. Morgan Kaufmann Publishers.

[12] Endriss, U., Maudet, N., Sadri, F., and Toni, F. (2006). Negotiating socially optimal allocations of resources. *J. Artif. Intell. Res.*, 25 :315–348.

[13] Faratin, P., Sierra, C., and Jennings, N. R. (1998). Negotiation decision functions for autonomous agents. *Robotics and Autonomous Systems*, 24(3-4) :159–182.

[14] Fatima, S. and Rahwan, I. (2013). Negotiation and bargaining. *Multiagent Systems*, 143.

[15] Fatima, S. S., Wooldridge, M., and Jennings, N. R. (2006). Multi-issue negotiation with deadlines. *Journal of Artificial Intelligence Research (JAIR)*, 27 :381–417.

[16] Gale, D. and Shapley, L. S. (1962). College admissions and the stability of marriage. *The American Mathematical Monthly*, 69 :9–14.

[17] Gatti, N., Giunta, F. D., and Marino, S. (2008). Alternating-offers bargaining with one-sided uncertain deadlines : an efficient algorithm. *Artificial Intelligence*, 172(8-9) :1119–1157.

[18] Grabisch, M. (1997). k-order additive discrete fuzzy measures and their representation. *Fuzzy Sets and Systems*, 92(167-189) :165–114.

[19] Guttman, R. H., Moukas, A. G., and Maes, P. (1998). Agent-mediated electronic commerce : a survey. *The Knowledge Engineering Review (KER)*, 13(2) :147–159.

[20] Harsanyi, J. C. (1977). *Rational Behavior and Bargainning with Incomplete Information*. Cambridge University Press.

[21] Ito, T., Klein, M., and Hattori, H. (2008). Multi-issue negotiation protocol among agents with nonlinear utility functions. *Multiagent and Grid Systems*, 4(1) :67–83.

[22] Jennings, N., Faratin, P., Lomuscio, A., Parsons, S., Wooldridge, M., and Sierra, C. (2001). Automated negotiation : Prospects methods and challenges. *Group Decision and Negotiation (GDN)*, 10(2) :199–215.

[23] Keeney and Raiffa, H. (1976). *Decisions with Multiple Objectives*. John Wiley New York.

[24] Kersten, G. and Lai, H. (2007). Negotiation support and e-negotiation systems : An overview. *Group Decision and Negotiation (GDN)*, 16(6) :553–586.

[25] Kersten, G. E. (2001). Modeling distributive and integrative negotiations. review and revised characterization. *Group Decision and Negotiation (GDN)*, 10(6) :493–514.

[26] Kersten, G. E. and Noronha, S. J. (1999). WWW-based negotiation support : design, implementation, and use. *Decision Support Systems (DSS)*, 25(2) :135–154.

[27] Kersten, G. E., Noronha, S. J., and Teich, J. (2000). Are all e-commerce negotiations auctions ? In *Designing Cooperative Systems : The Use of Theories and Models : Proceedings of the 5th International Conference on the Design of Cooperative Systems (COOP'2000)*, volume 58, page 387.

[28] Kraus, S. (1997). Negotiation and cooperation in multi-agent environments. *Artificial Intelligence*, 94(1) :79–97.

[29] Kraus, S. (2001). *Strategic Negotiation in Multiagent Environments*. MIT Press.

[30] Kraus, S., Wilkenfeld, J., and Zlotkin, G. (1995). Multiagent negotiation under time constraints. *Artificial Intelligence*, 75(2) :297–345.

[31] Lin, R., Kraus, S., Baarslag, T., Tykhonov, D., Hindriks, K., and Jonker, C. M. (2012). GENIUS : an integrated environment for supporting the design of generic automated negotiators. *Computational Intelligence*, pages 48–70.

[32] Lomuscio, A., Wooldridge, M., and Jennings, N. (2003). A classification scheme for negotiation in electronic commerce. *Group Decision and Negotiation (GDN)*, 12(1) :31–56.

[33] Lopes, F., Wooldridge, M., and Novais, A. Q. (2008). Negotiation among autonomous computational agents : Principles, analysis and challenges. *Artificial Intelligence Review (AIR)*, 29(1) :1–44.

[34] Moulin, H. J. (2002). *Fair Division and Collective Welfare*. The MIT Press.

[35] Müller, J. (1996). *Foundations od Distributed Artificial Intelligence*, chapter Negotiation Principles, pages 211–228. John Wiley & Sons, Inc.

[36] Nongaillard, A. and Mathieu, P. (2011). Reallocation problems in agent societies : A local mechanism to maximize social welfare. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 14(3) :21.

[37] Osborne, M. and Rubinstein, A. (1990). *Bargaining and Markets*. The Academic Press.

[38] Osborne, M. J. and Rubinstein, A. (1994). *A Course in Game Theory*. MIT Press.

[39] Öztürk, M., Tsoukiàs, A., and Vincke, P. (2012). *Multiple Criteria Decision Analysis : State of the Art*, chapter Preference Modelling. Springer.

[40] Parsons, S., Rodriguez-Aguilar, J. A., and Klein, M. (2011). Auctions and bidding : A guide for computer scientists. *ACM Computing Surveys*, 43(2) :10 :1–10 :59.

[41] Parsons, S., Sierra, C., and Jennings, N. R. (1998). Agents that reason and negotiate by arguing. *Journal of Logic and Computation (JLC)*, 8(3) :261–292.

[42] Pruitt, D. G. (1981). *Negotiation Behavior*. Academic Press.

[43] Robu, V., Somefun, D. J. A., and La Poutré, J. A. (2005). Modeling complex multi-issue negotiations using utility graphs. In *Proc. of the Fourth International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS)*, pages 280–287. IFAAMAS.

[44] Rosenschein, J. and Zlotkin, G. (1994). *Rules of Encounter - Designing Conventions for Automated Negotiation among Computers*. MIT Press.

[45] Rubinstein, A. (1982). Perfect equilibrium in a bargaining model. *Econometrica*, 50(1) :97–102.

[46] Rubinstein, A. (1985). A bargaining model with incomplete information about time preferences. *Econometrica*, 53(5) :1151–1172.

[47] Sandholm, T. and Vulkan, N. (1999). Bargaining with deadlines. In *Proc. of AAAI*, pages 44–51.

[48] Schelling, T. (1960). *The Strategy of Conflict*. Hardward University Press.

[49] Sen, A. K. (1970). *Collective Choice and Social Welfare*. North-Holland.

[50] Stahl, I. (1972). *Bargaining Theory*. Stockholm School of Economics.

[51] Wurman, P. R., Wellman, M. P., and Walsh, W. E. (1998). The Michigan Internet AuctionBot : A configurable auction server for human and software agents. In *Proc. of the Second International Conference on Autonomous Agents (ICMAS)*, pages 301–308.

[52] Zeuthen, F. (1930). *Problems of Monopoly and Economic Welfare*. G. Routledge and Sons, London.

[53] Zheng, R., Dai, T., Sycara, K. P., and Chakraborty, N. (2016). Automated multilateral negotiation on multiple issues with private information. *INFORMS Journal on Computing*, 28(4) :612–628.