

Méthode Consensuelle de Formation de Coalitions Multi-Agents

Consensual Method for Coalition Formation in Multi-Agent Systems

Samir Aknine¹, Philippe Caillou², Aurélien Slodzian¹

¹LIP6, Université Paris 6
8, rue du Capitaine Scott
75015 PARIS Cedex 15, France

²Université Paris Dauphine
Place du Maréchal De Lattre De Tassigny
75775 Paris Cedex 16, France

Aknine,Slodzian@lip6.fr
Caillou@lamsade.dauphine.fr

Résumé

Dans cet article, nous décrivons une nouvelle méthode de formation de coalitions entre agents. Cette méthode se base sur le principe de concessions graduelles entre agents pour parvenir à un consensus sur les coalitions à former. Nous décrivons cette méthode dans le contexte du projet européen *Princip*¹ dédié au filtrage de documents racistes. Ce projet a été initié pour fournir une protection contre les documents et discours racistes sur Internet. Il se base sur une approche multi-agent pour permettre une analyse multidimensionnelle du contenu des documents. Le rôle de l'approche multi-agent dans cette démarche est de fournir les outils théoriques permettant la combinaison de nombreuses règles d'analyse de contenu.

Mots Clef

Coalitions, multi-agent, coordination.

Abstract

In this paper, we propose a new method for coalition formation in multi-agent systems. This method is based on the principle of gradual concessions of the agents in order to reach a consensus of the coalitions to form. We present this method in the context of Princip, a european project for information filtering. This project uses a multi-agent approach for multidimensional analysis of documents' content on the internet.

Keywords

Coalitions, multiagent, coordination.

1. Introduction

Le projet européen *Princip* (*Multilingual system for the analysis and detection of racist and revisionist content on the Internet*)¹ a été initialement créé pour fournir une protection contre les documents et discours racistes sur Internet. Ce projet a deux objectifs principaux : le premier consiste à fournir un outil de filtrage qui permet d'identifier rapidement les documents racistes et deuxièmement fournir la liste des sites racistes à des outils de protection contre le racisme. Ces outils sont très souvent utilisés par des organismes et des particuliers. Cet article se focalise essentiellement sur le premier aspect. Nous allons, particulièrement, mettre l'accent sur l'apport de l'approche multi-agent pour la résolution des problèmes de ce type. En effet, cette approche trouve son intérêt dans la combinaison efficace de différentes techniques d'analyse de documents provenant de différents moteurs classiques de recherche d'informations sur Internet pour lesquels des listes de mots-clés sont envoyées régulièrement pour rechercher ces documents.

Dans cet article, nous présentons la méthode de formation de coalitions utilisée dans le cadre de ce projet. Cette méthode se base sur le principe d'élaboration de concessions graduelles entre agents pour parvenir à un consensus sur les coalitions à former. Elle constitue une adaptation de la méthode définie dans [2] à ce type de problèmes en relaxant certaines contraintes imposées dans le modèle précédent. En effet, cette méthode a pour but principal de préserver l'équité entre les agents. Aucune contrainte de confiance entre agents n'est imposée dans ce nouveau modèle et aucun ordre d'exécution des agents n'est imposé dans ce protocole.

Cet article est organisé comme suit. Dans la section 2, nous reprenons une brève description du problème de filtrage de documents abordé dans *Princip*. Dans la section 3, nous présentons le modèle de formation de coalitions. Nous décrivons le principe de ce modèle. Puis nous le positionnons par rapport au modèle de base que

¹ Les documents traités, dans ce projet, sont écrits dans les trois langues, Allemand, Anglais et Français. Le projet est en partenariat avec l'Inalco qui travaille sur traite les documents écrits en français, DCU, Dublin University pour la langue anglaise et l'Université de Magdeburg pour l'Allemand ainsi que la ligue des droits de l'homme belge dont le rôle est de valider les résultats.

nous avons défini [2]. Nous décrivons ensuite les différents comportements des agents dans ce modèle. Nous analysons ses propriétés et nous présentons les premiers résultats des expérimentations faites avec ce modèle dans la section 4. Nous terminons avec une conclusion sur ce travail dans la section 5.

2. Description du problème

A partir de l'analyse d'ensembles très larges de documents racistes, anti-racistes et neutres, un certain nombre de critères permettant de reconnaître des textes racistes ont été identifiés par les équipes linguistes de notre projet. Dans ce qui suit, nous donnons quelques exemples de critères.

- **Les expressions racistes spécifiques** utilisées uniquement par les auteurs racistes, p. ex. « *Republicons* » au lieu de « *Republicain* ». Mais ces expressions peuvent tout aussi bien apparaître dans des documents anti-racistes.
- **Les fréquences moyennes** de certains mots ou catégories de mots ne sont pas les mêmes dans les documents racistes. Ces mots ne sont pas nécessairement des mots racistes mais plutôt des mots communs (tels que : « *their* » ou « *white* »), des affirmations, dans des expressions telles que « *certain* » ou « *fait* ».
- **Les fréquences combinées** de certaines paires de mots sont très fréquentes, par exemple, la combinaison de « *notre* » avec les mots comme « *civilisation* », « *race* » ou « *religion* ».
- **Les suffixes** tels que « *al* », « *ense* », « *isme* » sont également de bons indicateurs pour séparer les documents racistes des autres.
- **Les polices** gothiques, ou certaines images, sont typiques aux pages racistes.

Il existe bien d'autres exemples. Tous les critères ont été trouvés sur base d'une analyse statistique comparative du corpus. Comme le montrent ces exemples, il n'existe pas d'indicateurs clairs de racisme sur lesquels on pourrait se baser pour construire un système de détection. Ceci est la conséquence du fait qu'il n'existe pas de mots ou de caractéristiques linguistiques que seuls les auteurs racistes utilisent. C'est pour cette raison que, nous devons nous appuyer sur une analyse statistique. Bien que cette analyse permet de mettre en exergue les différences entre les documents racistes et non racistes, sa faiblesse réside dans son impossibilité à apporter non pas des affirmations sur un document particulier mais sur des groupes de documents ou des classes de documents.

Deux facteurs sont à l'origine de la complexité du système. Premièrement, seule la convergence de plusieurs critères sur un même document peut être un bon indicateur de racisme sachant qu'il n'existe pas d'indications concomitantes d'anti-racisme. Par

conséquent, le nombre de critères, des centaines dans notre application, leur complexité individuelle, leur corrélation et leur importance relative ont une grande influence sur la complexité globale. Deuxièmement, le facteur empirique joue un rôle très important dans ce problème. En effet, certains critères qui semblent conceptuellement proches peuvent avoir des résultats différents, des poids discriminants, une meilleure efficacité ou temps de calcul. Chaque critère peut être utilisé pour sélectionner, comparer ou éliminer des pages avec différentes précisions. C'est pourquoi, différentes combinaisons de critères peuvent être plus ou moins précises et efficaces. Cependant, nous n'avons aucune théorie qui permette de déterminer *a priori* la précision ou l'efficacité de telle ou telle combinaison de critères. Le but de l'approche multi-agent est d'apporter une solution au problème de la combinaison de ces règles.

3. Modèle de formation de coalitions entre agents-critères

Parmi les problèmes énoncés précédemment, auxquels nous devons faire face, on retrouve le problème de la complexité des traitements pour l'analyse du contenu des documents et de l'absence d'algorithme permettant de mener cette analyse. C'est sur cette base que nous avons assimilé la combinaison des critères linguistiques à un processus de coopération entre agents. C'est pour cette raison qu'une coordination dynamique est nécessaire.

Dans cette section, nous présentons le modèle de formation de coalitions utilisé par les *agents-critères*, que l'on associe à chacun des critères linguistiques, pour permettre un meilleur choix des documents sur lesquels ceux-ci vont être appliqués [6]. Le rôle d'un *agent-critère* est de générer un ensemble d'informations sur les caractéristiques du document en utilisant un ensemble de traitements propres et en se basant sur les informations produites par les autres *agents-critères*. L'ensemble de ces ressources est dit R . Un traitement peut être activé si les ressources produites par d'autres critères sont disponibles, on note alors $\vdash_R C_i$. On note également qu'un critère a obtenu ces informations par $C_i \vdash_R$.

3.1. Que représente une coalition ?

Chaque *agent-critère* possède des compétences particulières. Il est programmé pour effectuer au mieux une analyse du document selon un seul point de vue. Ces agents sont spécialisés et ne sont pas capables d'apporter individuellement un jugement définitif sur un document. C'est pourquoi, ils doivent obligatoirement être combinés d'une manière ou d'une autre. Une solution pour les coordonner est de rechercher les agents qui forment les groupes les plus appropriés pour analyser un document. C'est pourquoi, on peut chercher à former des coalitions d'agents. Une coalition se définit comme une alliance

temporaire entre des agents pour réaliser un but commun. Dans cette application, le rôle de la coalition d'agents est de reconnaître si un document est raciste, révisionniste, anti-raciste, etc.

Le choix des coalitions dépend du type de problèmes. Les coalitions sont bien adaptées lorsqu'il y a de fortes externalités entre les sous-tâches (c'est-à-dire lorsque l'accomplissement ou non d'une sous-tâche modifie l'utilité liée à l'accomplissement d'une autre sous-tâche) et/ou lorsque les nombreuses interactions entre agents font que l'apport d'un agent à une coalition dépend de ceux qui s'y trouvent déjà. Un contrat bilatéral serait alors difficile à négocier [1]. Une fois la formation de coalitions choisie comme méthode de coordination, le choix et la définition du protocole correspondant restent problématiques. Celui-ci est fortement dépendant du type de problèmes étudié. Le fait que les agents aient ou non le même objectif, qu'ils se fassent ou non confiance sont des exemples de paramètres qui peuvent engendrer des protocoles totalement différents. Les protocoles existants reposent sur une hypothèse afin de pouvoir former les coalitions : les fonctions d'utilité des agents, qui mesurent leur degré de satisfaction pour chaque solution proposée, doivent être agrégables ou identiques. C'est-à-dire que les agents doivent être capables de se mettre d'accord sur une fonction d'utilité commune, soit à tous (comme dans [5]), soit à leur coalition ou alliance (comme dans [7]). Cette hypothèse peut sembler acceptable pour la plupart des systèmes, notamment pour des projets à but productif où les utilités peuvent souvent toutes se ramener à l'unité monétaire. Une analyse comparative et détaillée de notre méthode de base avec les autres méthodes notamment [4] est présentée dans [2].

Par ailleurs, les modèles actuels [1] qui reposent sur des principes différents ou les préférences ne sont ni agrégées ni comparées présentent plusieurs avantages et souffrent également de quelques insuffisances que nous cherchons à éviter dans ce nouveau modèle. En effet, (1) le modèle de base que nous avons initialement défini [1] impose un ordre pour les agents dans leur participation au mécanisme de formation de coalitions ; (2) l'équité n'est pas respectée dans ce modèle de base puisque les agents qui participaient en premier dans le mécanisme étaient les plus favorisés ; (3) les agents se font nécessairement confiance.

Notre objectif est de proposer un modèle de formation de coalitions qui respectent toutes les hypothèses du modèle précédent [1], mais qui tiennent compte aussi de ces insuffisances principales. Nous allons donc proposer un ajustement du protocole de formation de coalitions pour pallier ces limitations.

Le mécanisme que nous proposons dans cette section s'applique particulièrement bien dans le cas de problèmes avec des tâches complexes (pour lesquelles il y a un besoin d'avoir plusieurs agents et donc d'une coalition), dynamiques (des tâches peuvent être ajoutées, d'autres

retirées ou modifiées à tout moment) avec des fonctions d'utilité des agents totalement libres. Les agents considérés ici sont compétitifs, c'est-à-dire qu'ils ont le choix de se faire ou non confiance dans la recherche des solutions comme ils peuvent se faire confiance. Ils respectent néanmoins les engagements qu'ils prennent. Leur fonction d'utilité est totalement libre. La seule contrainte est qu'elle soit cohérente tout au long de la négociation. Elle n'a pas besoin d'être cardinale, une utilité ordinale suffit. Les agents doivent donc juste être capables de choisir entre deux situations (ou être indifférents).

Ce mécanisme procède par construction de solutions partielles par chacun des agents, i.e., des solutions qui tiennent compte au mieux de ses contraintes. Ces solutions sont ensuite rapprochées les unes aux autres en favorisant les concessions entre agents pour faire émerger un consensus sur les coalitions à former. Les agents favorisent donc dans ce modèle, le recours à des concessions graduelles et réciproques plutôt que de rester sur une position qui ne leur permettrait pas d'atteindre leurs objectifs de base. Les concessions sont graduelles, elles ne sont pas imposées à un seul ou plusieurs agents mais à l'ensemble des agents pour justement garantir l'équité recherchée dans ce modèle. D'interaction en interaction, chaque agent est obligé de céder un peu plus sur sa position pour pouvoir croiser les positions des autres. Un agent ne peut pas rester sur une position tant que les autres ne l'ont pas acceptée. Les concessions se font obligatoirement par tous les agents.

3.2. Mécanisme de formation et d'évolution des coalitions

Pour nous permettre de présenter les modèles de comportements des *agents-critères* dans ce mécanisme, nous introduisons les concepts de base utilisés dans ce modèle dont certains ont été également utilisés dans [2].

3.2.1. Définitions

Définition 1. *Coalition.* Une coalition est formée pour chaque tâche. Elle regroupe aucun, un ou plusieurs agents qui vont effectuer des actions pour réaliser la tâche. Pour chaque agent, une action et des paramètres sont définis (par exemple, action d'analyser le contenu d'un document avec comme paramètre la durée maximale que ne devrait pas dépasser cette analyse).

Définition 2. *Ensemble de coalitions.* Un ensemble représente une solution possible au problème de formation de coalitions. Il est composé d'autant de coalitions qu'il y a de tâches à réaliser dans le système à un instant donné.

Définition 3. Groupe d'ensembles de coalitions. Un groupe d'ensembles de coalitions correspond à plusieurs ensembles de coalitions regroupés pour pouvoir être traités ou transmis collectivement (par exemple, plusieurs organisations possibles des *agents-critères*).

Dans la suite de cet article, nous parlons de groupe d'ensembles ou tout simplement de groupe. Lorsqu'un agent constitue un groupe d'ensembles équivalents, cela signifie qu'il est indifférent entre tous les ensembles de coalitions qu'il met dans ce groupe puisqu'il ne peut pas les départager.

Définition 4. Contexte. Ensemble de paramètres quelconques qui décrivent l'état du système dans lequel la formation de coalitions a été initiée. Ce contexte est important puisque, pour tout changement de ce dernier, le résultat de la négociation ne serait plus le même. C'est pour cette raison qu'on impose que ses paramètres soient stables au cours de la négociation. Il peut par exemple s'agir de la date ou d'un autre paramètre extérieur.

Définition 5. Fonction d'utilité. La fonction d'utilité sert à représenter les préférences de l'agent. Elle peut être ordinale ou cardinale. Si elle est cardinale, elle associe une utilité à un ensemble de coalitions et à un contexte donné. Si elle est ordinale, elle permet de comparer deux ensembles dans un contexte donné. Dans ce cas, mesurer l'utilité d'un ensemble signifie le comparer à une situation de référence qui sera la même tout au long de la négociation.

Définition 6. Situation de référence. Pour que les agents sachent s'ils acceptent un ensemble de coalitions comme solution, il faut qu'ils puissent le comparer à ce qu'ils sont certains de pouvoir obtenir lors de la négociation. Ce minimum est la situation de référence. Si aucune coalition n'est encore formée, c'est la situation où aucun *agent-critère* ne fait rien. S'il y a déjà des coalitions, c'est la situation actuelle, avec éventuellement quelques changements pour prendre en compte de nouvelles informations sur lesquelles nous reviendrons plus tard. Pour que les agents obtiennent une solution lors de la négociation, la situation de référence doit être réalisable et la même pour tous les *agents-critères*.

Définition 7. Ensemble de coalitions acceptable. Un ensemble de coalitions sera dit acceptable pour un *agent-critère* s'il est préféré ou équivalent à la situation de référence actuelle.

Définition 8. Optimum de Pareto. Un optimum de Pareto est une situation où il n'est pas possible d'améliorer la situation d'un individu sans détériorer celle d'au moins un autre [3].

Graphiquement, pour deux agents, une situation est optimale si aucune autre situation ne se situe dans le cadre en haut à droite de la situation considérée (cf. figure 1).

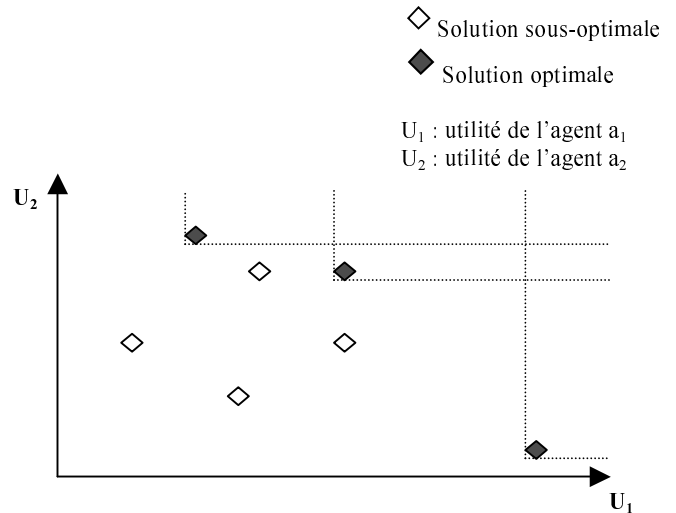


Figure 1. Exemple de situations optimales au sens de Pareto

Définition 9. Signature d'un ensemble. La signature d'un ensemble E_i , notée $Sig(E_i)$, définit l'ensemble des agents *agents-critères* ayant approuvé cet ensemble.

Définition 10. Connaissances d'un agent sur les ensembles. Les connaissances d'un *agent-critère* C_i sur les ensembles, noté $K(C_i)$, définissent les ensembles dont l'*agent-critère* a pris connaissance.

Définition 11. Ensembles Inacceptables pour un agent. Les ensembles inacceptables pour un *agent-critère* C_i , appartenant à $Out(C_i)$, sont les ensembles $E_i \in K(C_i)$ dont l'*agent-critère* a pris connaissance mais qui sont inacceptables pour lui.

Si un ensemble est jugé comme inacceptable par un agent, il ne peut plus être proposé comme solution par cet agent.

3.2.2. La méthode de formation des coalitions

En définissant ce protocole, nous souhaitons garder certaines des propriétés de base de la méthode dans [1], i.e., permettre la résolution de problèmes de formation de coalitions d'agents sans avoir à agréger leurs préférences, tout en associant les nouvelles propriétés (cf. section 3.1). Nous avons également souhaité garder l'aspect flexibilité du protocole de base qui permettait une restructuration dynamique et rapide de ces coalitions en fonction de nouvelles informations.

3.2.2.1. Présentation

Principe

L'agent qui initialise la négociation recherche le ou les ensembles de coalitions qu'il préfère. Il choisit l'agent suivant et les lui envoie. La méthode de choix de l'agent suivant repose sur les stratégies de l'agent. L'agent indique également les ensembles qui lui sont inacceptables. Il peut continuer à chercher les ensembles qu'il choisirait en deuxième choix et ainsi de suite jusqu'à ce qu'il n'y ait plus d'ensemble qu'il trouve au moins aussi bon que la situation actuelle. Pour transmettre de nouveau ses choix d'ensembles, l'agent doit attendre de recevoir un message de réponse d'un autre agent soit à propos de l'ensemble qu'il a proposé ou sur une nouvelle proposition d'ensemble.

De la même façon, les autres agents commencent par calculer, chacun de leur côté, le ou les ensembles qu'il préfère. Il calcule, ensuite, les ensembles qu'il choisirait en deuxième position et ainsi de suite. Quand un agent reçoit un groupe d'ensembles, il l'évalue. Si un ou plusieurs de ces ensembles sont aussi préférés que son meilleur choix, il le transmet à l'agent suivant qu'il veut faire participer dans la négociation. Il signe alors cet ensemble dans $Sig(E_i)$, ce qui permet d'indiquer que cet ensemble a été approuvé par cet agent mais également par les précédents émetteurs. Lorsque dans le groupe d'ensembles qu'il a reçu, l'agent a trouvé des ensembles inacceptables pour lui, il doit les signaler aux autres agents dans $Out(C_i)$ qui inclut également les ensembles que lui-même a identifiés. Cette information est nécessaire, dans le cas où les agents se font confiance, car elle évite aux autres agents des calculs sur des ensembles qui seront systématiquement refusés. Dans le cas contraire, les agents ne la transmettent pas pour éviter que les autres ne l'utilisent dans leur stratégie puisqu'elle leur permettrait de connaître les ensembles que cet agent pourrait accepter.

Dans le cas où, certains des ensembles sont acceptables mais dont l'utilité est inférieure à son premier choix, l'agent peut décider de les transmettre quand même au prochain agent et donc le nombre d'agents ayant approuvé cet ensemble devient plus élevé et l'ensemble est mieux renforcé. Il peut aussi décider de ne pas les transmettre temporairement mais en indiquant qu'il les a reçus quand même dans $K(C_i)$ s'il estime que le temps de négociation est suffisant pour atteindre un consensus. Il transmet alors un des ensembles qu'il préfère à l'agent suivant.

Lorsqu'un agent reçoit un groupe d'ensembles, qu'il y en a au moins un qui est aussi bon ou préférable à la situation actuelle et que tous les agents ont déjà approuvé ce groupe, l'ensemble qu'il préfère de ce groupe est un optimum de Pareto et est utilisé comme ensemble solution de la négociation.

Par exemple, si on considère deux agents et sept ensembles de coalitions possibles. On note $E(U_1;U_2)$ les utilités relatives des agents C_1 et C_2 pour l'ensemble E . Les sept ensembles possibles, avec E_0 qui représente la

situation initiale sont: $E_0(0;0)$; $E_1(0;10)$; $E_2(2;8)$; $E_3(4;8)$; $E_4(4;5)$; $E_5(-2;2)$; $E_6(10;-1)$. Parmi ces sept ensembles, trois sont des optima de Pareto possibles (E_1 , E_3 et E_6). On représente ces solutions sur un plan en fonction de l'utilité qu'elles apportent à chacun des agents (cf. figure 2).

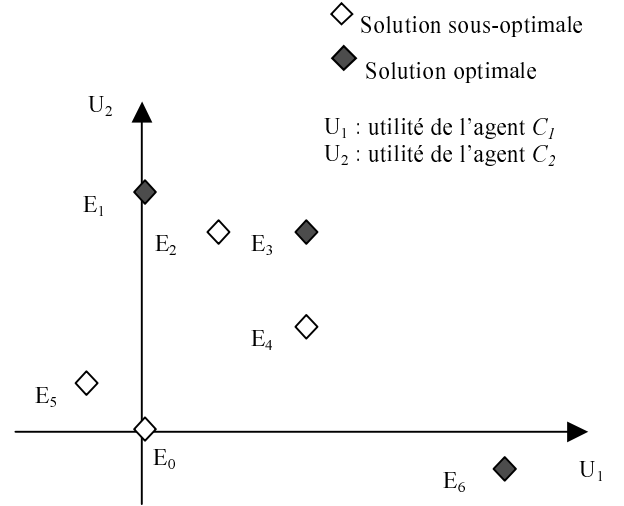


Figure 2. Représentation des solutions possibles dans l'espace des utilités des agents

L'agent C_1 initie la négociation. Il classe tous les ensembles acceptables pour lui en groupes d'ensembles équivalents (figure 3) : $G_1(E_6)$; $G_2(E_4;E_3)$; $G_3(E_2)$; $G_4(E_0;E_1)$. E_5 n'est pas classé car la situation de référence (E_0) lui est préférée :

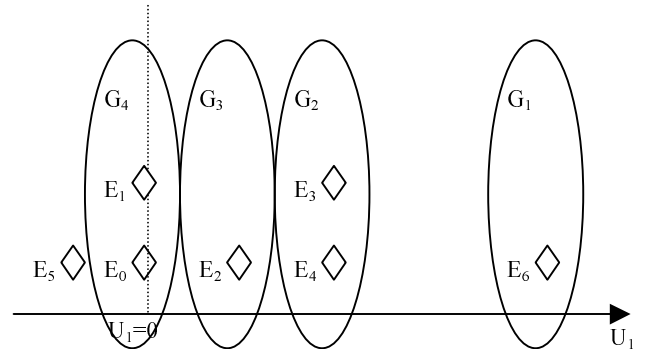


Figure 3. Classement des ensembles en groupes par l'agent C_1

Les groupes G_1 , G_2 , G_3 et G_4 sont acceptables pour l'agent C_1 car ils correspondent à une situation aussi ou plus satisfaisante que la situation initiale de référence. De la même façon, l'agent C_2 recherche également ses premiers ensembles acceptables et les répartit en groupes d'ensembles équivalents (figure 4) : $G'_1(E_1)$; $G'_2(E_2;E_3)$; $G'_3(E_4)$; $G'_4(E_5)$; $G'_5(E_0)$. E_6 n'est pas classé car la situation de référence (E_0) lui est préférée :

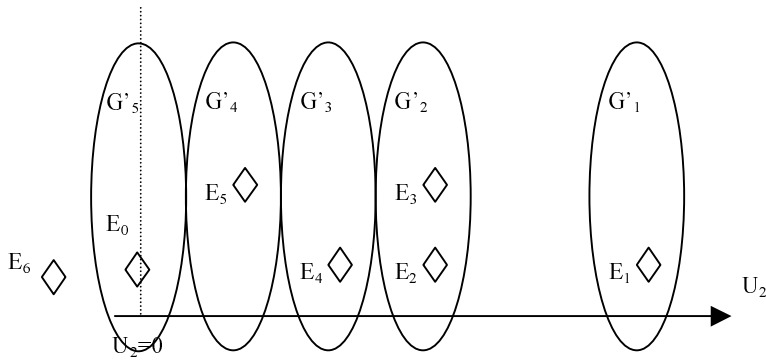


Figure 4. Classement des ensembles en groupes par l'agent C_2

Pour l'agent C_2 , ses groupes acceptables sont G'_1 , G'_2 , G'_3 , G'_4 et G'_5 puisqu'ils correspondent à une situation aussi ou plus satisfaisante que sa situation initiale de référence.

L'agent C_1 commence alors par envoyer son premier groupe préféré G_1 . Ainsi, l'agent C_2 commence par recevoir G_1 et l'évalue (cf. figure 5). Le seul ensemble de $G_1(E_6)$ est inacceptable pour l'agent car il amènerait une situation moins satisfaisante que la situation initiale. L'agent C_2 ne cherche pas à transmettre cet ensemble. Il indique son premier refus à l'agent C_1 pour le groupe $G_1(E_6)$ qu'il vient de recevoir.

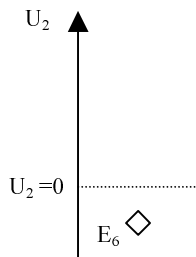


Figure 5. Classement du premier groupe reçu par l'agent C_2

L'agent C_1 n'a d'autre choix que d'attendre une proposition de l'agent C_2 . C_2 envoie alors son ensemble préféré qui est $G'_1(E_1)$. Ce groupe est formé d'un ensemble E_1 qui est acceptable pour l'agent C_1 mais correspond en même temps à son dernier choix puisque son utilité est la même que celle de la situation de référence E_0 (cf. figure 6). L'agent C_1 ne refuse pas cet ensemble mais a la possibilité de proposer un autre groupe d'ensembles pour l'agent C_2 . C_1 envoie alors son deuxième groupe d'ensembles préféré $G_2(E_3, E_4)$.

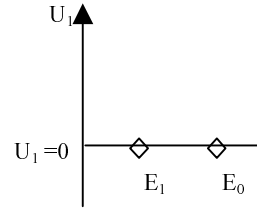


Figure 6. Classement du premier groupe reçu par l'agent C_1

L'agent C_2 reçoit, ensuite, G_2 et classe ses deux ensembles en deux groupes. L'ensemble E_3 de G_2 appartient à son groupe G'_2 qui représente son deuxième choix. Quant à l'ensemble E_4 , il appartient au groupe G'_3 qu'il préfère en troisième position. E_3 est acceptable. Comme tous les autres agents ont déjà participé à la négociation, l'agent C_2 ne peut pas le transmettre au suivant.

L'ensemble E_3 de G'_2 peut donc être solution. L'agent C_2 n'a alors d'autre choix que E_3 qui est effectivement un optimum de Pareto. Soit il transmet cet ensemble à l'agent C_1 pour lui indiquer le résultat de la négociation, soit il attend que C_1 cède sur l'ensemble E_1 qui est également un optimum de Pareto sachant que l'agent C_2 a déjà émis un refus pour un des ensembles précédents de l'agent C_1 . La négociation entre les deux agents se termine forcément sur l'un ou l'autre des optima de Pareto et avant l'expiration de la durée de négociation fixée initialement.

▪ Algorithme

Chaque négociation s'effectue en trois phases : initialisation de la négociation et transfert des tâches, négociation, transmission de la solution. Il n'existe aucun ordre pré-établi pour les agents. Les agents peuvent intervenir différemment au cours des différentes itérations de la négociation et qu'ils peuvent être situés à n'importe quel rang. La seule condition imposée est qu'un agent ne peut communiquer que s'il est contacté par un autre agent.

- Phase 1 : Initialisation de la négociation et transfert des tâches

Un des *agents-critères* doit initier la négociation. Cette initiative peut être provoquée par l'arrivée d'un document ou par l'*agent-critère* même, par exemple en cas de modification de ses préférences suite à une évaluation négative faite par un autre *agent-critère* d'un des documents sur lesquels il travaillait.

L'agent initiateur informe tous les autres agents qu'il débute une nouvelle négociation. Tout agent qui voudrait en débiter une autre devra attendre la fin de la négociation. Pour éviter des conflits entre deux demandes simultanées, chaque agent envoie une confirmation.

Chaque agent demande à chacun des autres agents de lui transmettre ses tâches. Pour décrire ce que chaque agent veut faire et un éventuel ordre d'exécution de ses

actions, l'agent transmet un vecteur de ses choix conditionnels. Par exemple, l'agent C_i envoie un vecteur de la forme :

$$Want(C_i) = \langle t_1 : D_1 \vee D_2 \vee D_3, t_2 : D_4 \text{ si } C_j \vdash D_4, : D_5 \rangle$$

Ce vecteur précise que l'*agent-critère* voudrait traiter les documents D_1 , D_2 ou D_3 à l'instant t_1 . Il voudrait traiter le document D_4 à l'instant t_2 si les ressources nécessaires à cela ont été produites par un autre *agent-critère* C_j . Enfin, il n'a aucune exigence sur l'instant de traitement du document D_5 . Il utilise un ensemble d'opérateurs pour décrire ses choix aussi bien au niveau temporel que des ressources dont il aura besoin.

L'agent récepteur dispose ainsi de l'ensemble des tâches à effectuer et pourra associer à chacune d'elles une coalition dans chaque ensemble proposé. L'agent initiateur calcule les premiers ensembles de coalitions possibles. Il les rassemble dans un groupe d'ensembles pour débiter la négociation. Il envoie alors son premier groupe d'ensembles préféré qu'il signe avec $Sig(E_i)$.

- Phase 2 : Négociation

Chacun des autres agents commence également par calculer de son côté le ou les ensembles qu'il préfère. Il calcule ensuite les ensembles qu'il choisirait en deuxième position et ainsi de suite. Lorsqu'un agent reçoit un groupe d'ensembles, l'agent classe par ordre de préférence les ensembles reçus dans des groupes d'ensembles homogènes. Il met à jour ses connaissances sur ces ensembles avec $K(C_i)$. Lorsque l'utilité d'un nouveau groupe construit est équivalente à l'utilité d'un groupe qui est déjà connu par l'agent, ces groupes ne sont pas fusionnés par l'agent récepteur puisque pour les agents qui les ont envoyés leur utilité n'est pas identique.

Pour chaque groupe, l'agent est ainsi indifférent entre tous les ensembles du groupe. L'agent ne classe que les ensembles qu'il considère au moins équivalents à la situation de référence. Les autres ne sont pas classés dans un groupe, ils sont abandonnés. Il les signale dans $Out(C_i)$ au moins au prochain agent qu'il va contacter si les agents se font confiance. Dans le cas contraire, il ne les signale pas aux autres.

L'agent choisit un autre agent à qui envoyer un groupe d'ensembles. Il lui envoie son meilleur groupe d'ensembles, s'il ne le lui a pas encore envoyé, sinon il choisit le groupe suivant dans l'ordre de ses préférences. Ce meilleur groupe peut, éventuellement, contenir les ensembles déjà signés par les précédents agents ayant participé dans la négociation comme il peut ne contenir que des nouveaux. La différence entre les deux est le nombre d'agents qui ont approuvé ces ensembles.

Si tous les autres agents ont déjà participé à la négociation, l'agent classe de la même façon les ensembles reçus en groupes. Si au moins un des ensembles reçu est acceptable, il peut le considérer comme son meilleur groupe s'il estime que la durée de la négociation est proche de la fin. Tous les ensembles de ce groupe sont des optima de Pareto. Il peut donc en choisir

un au hasard et ce sera la solution de la négociation. Dans le cas contraire, il peut relancer la négociation s'il lui reste encore des groupes d'ensembles à proposer et évidemment qu'il n'a pas encore signalé.

- Phase 3 : Transmission de la solution

Une fois que le dernier agent a identifié un optimum de Pareto, il transmet cet ensemble à tous les autres agents qui l'acceptent comme solution de la négociation puisqu'ils l'avaient déjà approuvé dans $Sig(E_i)$.

3.2.2.2. Amélioration de la complexité par utilisation d'heuristiques

Pour améliorer la complexité de cet algorithme, nous avons repris les heuristiques que nous avons définies pour le précédent [2]. Par exemple, pour éviter que le premier agent ne commence par calculer toutes les combinaisons possibles pour toutes les tâches qui impliqueraient une complexité élevée, une solution est d'utiliser et de transmettre des coalitions « non développées », c'est-à-dire des tâches pour lesquelles toutes les coalitions possibles n'ont pas encore été calculées. Si un agent reçoit une coalition non développée dans un ensemble et que cette coalition ne peut affecter son utilité (qu'il y participe ou non), il la laisse telle quelle et ne s'en occupe pas. Il doit juste la signer dans $Sig(E_i)$. Si elle peut l'affecter, il calcule toutes les combinaisons possibles pour la tâche correspondante. Le résultat de ce calcul est le même quel que soit l'agent qui l'effectue. Par exemple, pour notre application portant sur la formation de coalitions pour le traitement de documents, un *agent-critère* qui débute la négociation ne développera que les coalitions portant sur des documents qu'il est susceptible d'analyser car ce sont les seuls qui peuvent modifier son utilité.

D'autres heuristiques sont aussi utilisées pour améliorer la complexité de cette méthode, notamment les tests intermédiaires d'acceptabilité, recherche limitée au meilleur groupe, recherche limitée avec évaluation intermédiaire, recherche prospective, méthodes non exhaustives présentées dans [2]

3.2.2.3. Propriétés

■ Importance de l'ordre et choix de l'agent suivant

L'ordre dans lequel les agents négocient n'a pas de réelle influence sur le résultat. En effet, le premier agent a le choix de la solution qu'il va proposer puisqu'il peut retenir en premier les ensembles qu'il préfère, parmi tous les ensembles possibles, pour les envoyer en premier au suivant. Par contre, les autres ne sont pas obligés de retenir les mêmes ensembles.

Le choix de l'agent suivant, lors de la phase de négociation, a une importance relative puisque les agents ne sont pas réellement obligés de garder les mêmes choix que l'agent qui les a contactés. L'intérêt du bon choix de l'agent suivant dans la négociation pour l'agent qui l'a

sélectionné est dans le fait que si celui-ci accepte les mêmes ensembles que ceux de son émetteur, le nombre d'agents ayant approuvés les mêmes ensembles seraient de plus en plus renforcé. Il serait plus difficile pour un agent contacté dans les phases suivantes de proposer un nouvel ensemble s'il estime que le temps de négociation restant est très faible et que la probabilité pour que les autres agents puissent changer d'avis est aussi faible. Il est aussi libre de le faire.

Pour limiter la complexité du protocole, on peut toutefois préférer l'agent qui apparaît le plus dans les ensembles proposés comme dans [1]. On peut supposer que, comme il participe à de nombreuses coalitions, cet agent sera plus intéressé par les alternatives qui lui sont proposées qu'un agent qui figure moins dans ces ensembles.

▪ *Pourquoi le résultat obtenu est-il un optimum de Pareto ?*

Comment être certain que le premier ensemble satisfaisant reçu par le dernier agent participant à la négociation est un optimum de Pareto ? Tous les ensembles possibles sont loin d'avoir été évalués par tous les agents. La démonstration que nous avons proposée dans [1] est également justifiée dans ce modèle.

Proposition 1.

Lorsqu'un agent reçoit un groupe d'ensembles, si tous les autres agents ont déjà participé à la négociation :

- un au moins des ensembles reçus est acceptable pour lui, c'est-à-dire qu'il est au moins équivalent à la situation de référence au niveau de la satisfaction,
- aucun des ensembles reçus précédemment lors de la négociation ne respectait les deux conditions précédentes, alors l'ensemble (ou les ensembles) S acceptable(s) qu'il préfère dans le groupe reçu est un optimum de Pareto et peut servir de solution à la négociation.

Démonstration.

Si cet ensemble (S) n'était pas un optimum de Pareto, cela voudrait dire qu'il existe un ensemble (S') qui est préférable pour un des agents (a_i) et au moins équivalent pour les autres. Si c'était le cas, tous les agents ayant précédé C_i dans la négociation auraient transmis S' soit dans le même groupe que S (s'ils sont indifférents), soit dans un groupe précédent (si au moins un agent préfère S' à S).

Si C_i avait reçu S' avant S , il l'aurait transmis (puisque S est solution, S est acceptable pour tous, donc S' , qui est au moins équivalent, est également acceptable pour tous). Les groupes reçus étant traités intégralement avant de passer au groupe suivant, C_i l'aurait renvoyé avant de traiter S . Les agents suivant C_i auraient donc reçu S' avant S . Comme pour eux S' est également acceptable, ils l'auraient transmis au suivant, jusqu'au dernier agent qui l'aurait également trouvé acceptable et l'aurait donc choisi comme solution, ce qui est impossible puisque c'est S qui a été choisi.

Si C_i avait reçu S et S' dans le même groupe (tous les agents précédents les ayant jugés équivalents), il aurait transmis S' avant S puisqu'il préfère S' à S . Comme pour le cas précédent, les agents suivant C_i auraient reçu S' avant S . Comme pour eux S' est acceptable, ils l'auraient transmis au suivant, jusqu'au dernier agent qui l'aurait également trouvé acceptable et l'aurait donc choisi comme solution, ce qui est impossible puisque c'est S qui a été choisi.

Il est donc impossible qu'il existe S' tel qu'un agent préfère S' à S et que tous les autres le trouvent au moins équivalent. Donc S est un optimum de Pareto.

▪ *Y a-t-il toujours une solution ?*

Nous allons montrer la convergence de cet algorithme vers une solution optimale lorsque celle-ci existe.

Proposition 2 :

Le protocole proposé a la propriété de permettre aux agents de trouver une solution à leur problème s'il existe au moins une solution acceptable.

Démonstration :

Supposons qu'il existe une solution S acceptable par tous les agents et que celle-ci n'est pas trouvée. Si S existe, cela voudrait dire qu'au moins au cours d'une de leurs interactions, un des agents a forcément proposé S puisque celle-ci lui est acceptable. Un des agents l'a nécessairement proposée puisque les agents sont tenus dans l'algorithme de faire des concessions d'étape en étape. Ils ne peuvent proposer deux fois de suite la même solution à un même agent. Or que si un des agents l'a proposée, les autres agents l'ont forcément considérée comme non rejetable ou acceptable. Par conséquent, au pire des cas, cette solution sera confirmée successivement par chacun des agents. Il en résulte qu'elle est choisie comme solution au problème.

4. Premiers résultats expérimentaux du modèle

Pour évaluer notre modèle et vérifier l'effectivité des propriétés énoncées précédemment, nous avons effectué dans un premier temps des tests indépendamment de l'application d'origine *Princip* pour simuler et tester les comportements réels des agents avec ce modèle de formation de coalitions.

Pour évaluer un tel protocole, on analyse ses résultats en retenant plusieurs facteurs : le nombre d'ensembles échangés entre les agents, le nombre d'ensembles de coalitions évaluées et la durée des négociations. Pour évaluer les performances de notre protocole, nous l'avons testé sur un nombre d'agents variant et les résultats obtenus sont résumés dans les figures 7, 8, 9 et 10.

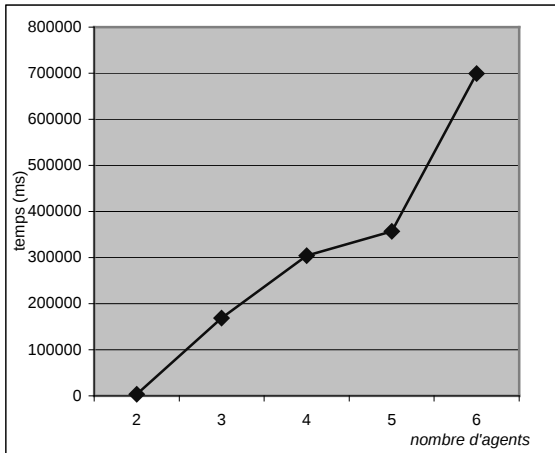


Figure 7: Durées des négociations entre un nombre d'agents variant de 2 à 6.

La figure 7 montre les durées des négociations en millisecondes avec un nombre d'agents variant de 2 à 6 agents. La courbe est croissante, ce qui montre que le temps de négociation est plus grand (mais qui reste raisonnable) quand on a un nombre d'agents important. Ceci est dû au nombre important de propositions qu'il peut y avoir.

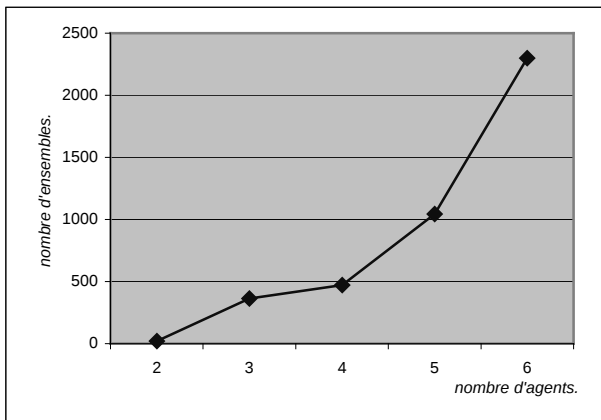


Figure 8 : Nombre d'ensembles envoyés lors des négociations avec un nombre d'agents variant de 2 à 6.

La figure 8 illustre le nombre d'ensembles de coalitions envoyés avec un nombre d'agents variant de 2 à 6 agents. Par exemple, pour 2 agents avec 2 tâches on a 20 ensembles de coalitions, et pour 4 agents avec 4 tâches on a 472 ensembles envoyés sur les 6561 ensembles possibles. Le nombre de messages envoyés varie fortement en fonction des préférences incompatibles entre les agents.

La figure 9 montre le nombre d'ensembles évalués et ceci permet de mesurer l'efficacité de l'heuristique de recherche du meilleur groupe. Si la méthode de base (sans utilisation du meilleur groupe) était employée, par exemple pour 4 agents et 4 tâches, le premier agent évaluerait simplement les 6561 ensembles possibles et les enverrait classés au suivant, qui les évaluerait à son tour jusqu'au dernier qui choisirait une solution, et du coup le nombre d'ensembles évalués va augmenter considérablement et dépasserait les 6561 ensembles possibles, ce qui n'est pas le cas dans la figure 9 qui montre un nombre de 5146 ensembles évalués pour 4 agents et 4 tâches.

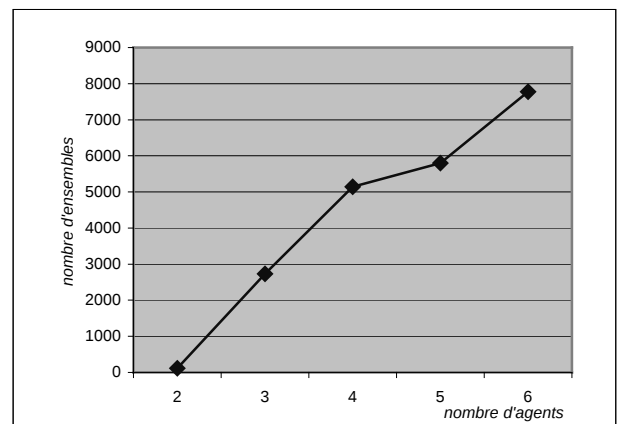


Figure 9 : Nombre d'ensembles évalués lors des négociations avec un nombre d'agents variant de 2 à 6.

La restructuration dynamique de coalitions a pour but de donner un résultat aussi satisfaisant que le protocole de base, mais de façon plus rapide car on utilise de l'information tirée de la négociation précédente en prenant la solution précédente comme nouvelle situation de référence. Le résultat ne sera pas obligatoirement (et même probablement pas) le même que si le protocole initial était appliqué, mais le résultat est toujours un optimum de Pareto.

On étudie l'effet de l'ajout de nouveaux agents à la situation précédente en terme de durée de négociation.

La figure 10 montre qu'en ajoutant progressivement un agent à ceux déjà existants et en faisant une mise à jour, on obtient une solution en un temps moins par rapport au cas où on applique le protocole initial (c.à.d sans utiliser la restructuration dynamique). Par exemple la durée de négociation pour 3 agents est de 168710ms dans la figure 1 tant dis que dans la figure 10 la durée est de 92600ms pour le même nombre d'agents et de tâches.

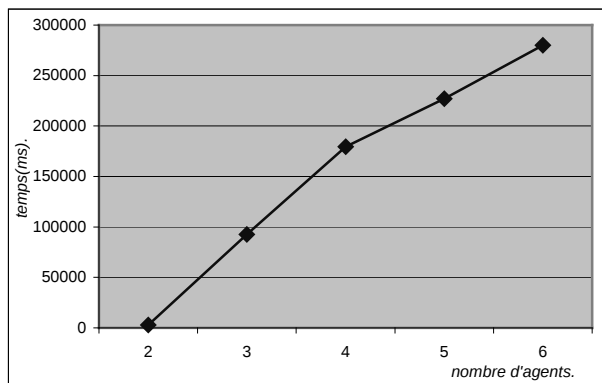


Figure 10 : Durée des négociations avec un nombre d'agents variant de 2 à 6, avec restructuration dynamique.

5. Conclusion

Dans cet article, nous avons proposé un nouveau modèle de formation de coalitions multi-agent. Ce modèle étend la méthode proposée initialement dans [2]. En le développant, nous avons premièrement cherché à pallier certaines insuffisances du modèle précédent [2]. Parmi les problèmes traités dans ce nouveau modèle : (1) le protocole n'exige aucun ordre pour les agents dans leur participation au mécanisme de formation de coalitions ; (2) l'équité est respectée dans ce modèle puisque les agents sont obligés de faire tour à tour des concessions pour se rapprocher des solutions acceptables par tous ; (3) aucune obligation de confiance entre les agents n'est imposée.

Dans la suite de ce travail, nous comptons poursuivre l'évaluation de ce modèle dans ce cadre de *Princip* qui est l'archétype d'une application réelle et difficile.

Références

- [1] CAILLOU, P., AKNINE, S., PINSON, S. "A Multi-Agent Method for Forming and Dynamic Restructuring of Pareto Optimal Coalitions", *AAMAS, International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-agent Systems*, Bologna, Italy, July, 1074-1081, 2002.
- [2] CAILLOU, P., AKNINE, S., PINSON, S. "Multi-Agent Models for Searching Pareto Optimal Solutions to the Problem of Coalitions", *ECAL*, Lyon, July, 13-17, 2002.
- [3] PARETO, V. Cours d'Economie Politique. Droz, Geneva Switzerland, 1896.
- [4] SANDHOLM T.W., LARSON K., ANDERSSON M., SHEHORY O., TOHMÉ F. Coalition Structure Generation with Worst Case Guarantees, *Artificial Intelligence*, 111 (1999) 209-238
- [5] SHEHORY O, KRAUS S. *Methods for Task Allocation*

via Agent Coalition Formation, *Artificial Intelligence* 101 (1998) 165-200

- [6] SLODZIAN, A., AKNINE, S. "A Dynamical Pyramidal Coordination Structure for Tracking Racist Documents on the Web", *IJCAI, workshop*, 8 pages, 2003.
- [7] VAUVERT G., EL-FALLAH-SEGHRUCHNI A. Coalition Formation among Strong Autonomous and Weak Rational Agents, *MAAMAW'2001*, Annecy, 2001