HAL
open science

Médiation flexible dans un système pair-à-pair

Sandra Lemp

To cite this version:

Sandra Lemp. Médiation flexible dans un système pair-à-pair. Interface homme-machine [cs.HC]. Université de Nantes, 2007. Français. NNT : . tel-00464469

HAL Id: tel-00464469

https://theses.hal.science/tel-00464469v1

Submitted on 17 Mar 2010

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.

École Centrale de Nantes **Université de Nantes** **École des Mines de Nantes**

ÉCOLE DOCTORALE STIM

« SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION ET DES MATÉRIAUX »

Année 2007

N° attribué ear la bibliothèque

Médiation flexible dans un système pair à pair

THÈSE DE DOCTORAT

Discieline : INFORMATIQUE

Seécialité : INFORMATIQUE

Présentée
et soutenue publiquement par

Sandra LEMP

*Le 8 octobre 2007 à l'*UFR *Sciences & Techniques, Université de Nantes,*
devant le jury ci-dessous

Président	:	Pr. Anne DOUCET	Université de Paris 6
Raeeorteurs	:	Amal EL FALLAH-SEGHROUCHNI, Professeur	Université de Paris 6
		Bruno DEFUDE, Professeur	Institut National des Télécommunications
Examinateurs	:	Patrick VALDURIEZ, Directeur de recherche	INRIA/Université de Nantes
		Sylvie CAZALENS, Maître de conférence	Université de Nantes
		Philieee LAMARRE, Maître de conférence	Université de Nantes

Directeur de thèse : Pr. Patrick VALDURIEZ
Co-encadrant : Philieee LAMARRE

Laboratoire: LABORATOIRE D'INFORMATIQUE DE NANTES ATLANTIQUE.
CNRS FRE 2729. 2, rue de la Houssinière, BP 92 208 – 44 322 Nantes, CEDEX 3.

N° ED 366-316

MÉDIATION FLEXIBLE
DANS UN SYSTÈME PAIR À PAIR

Flexible mediation in a peer to peer system

Sandra LEMP

⋈

favet neptunus eunti

Université de Nantes

Sandra LEMP

Médiation flexible dans un système pair à pair

IV+VIII+186 p.

Ce document a été préparé avec LaTeX2e et la classe `these-LINA` version v. 2.7 de l'association de jeunes chercheurs en informatique LOGIN, Université de Nantes. La classe `these-LINA` est disponible à l'adresse : `http://login.irin.sciences.univ-nantes.fr/`.
Cette classe est conforme aux recommandations du ministère de l'éducation nationale, de l'enseignement supérieur et de la recherche (circulaire n° 05-094 du 29 mars 2005), de l'Université de Nantes, de l'école doctorale « Sciences et Technologies de l'Information et des Matériaux » (ED-STIM), et respecte les normes de l'association française de normalisation (AFNOR) suivantes :

- AFNOR NF Z41-006 (octobre 1983)
  Présentation des thèses et documents assimilés ;
- AFNOR NF Z44-005 (décembre 1987)
  Documentation – Références bibliographiques – Contenu, forme et structure ;
- AFNOR NF Z44-005-2/ISO NF 690-2 (février 1998)
  Information et documentation – Références bibliographiques – Partie 2 : documents électroniques, documents complets ou parties de documents.

Impression : these.tex – 11/12/2007 – 11:16.

Révision pour la classe : these-LINA.cls,v 2.7 2006/09/12 17:18:53 mancheron Exp

Résumé

Nous nous intéressons aux systèmes distribués d'information ouverts, mettant en œuvre un grand nombre de sources d'informations autonomes et hétérogènes, tels que les systèmes pairs à pairs. Dans un tel contexte, un pair peut jouer à la fois le rôle d'initiateur de requêtes et celui de fournisseur d'informations. Le rôle du médiateur consiste à faire le lien entre initiateurs et fournisseurs, en allouant les requêtes qui lui sont confiées aux fournisseurs qui lui paraissent les plus pertinents. Les attentes des initiateurs et celles des fournisseurs peuvent être antagonistes : les premiers préférant des réponses pertinentes, les seconds privilégiant de traiter certains types de requêtes. Souvent, les médiateurs permettent de prendre en compte qu'un seul des deux points de vue.

Cette thèse propose un mécanisme de médiation flexible qui permet de considérer les deux points de vue en même temps, de façon à assurer la satisfaction de tous les acteurs du système. D'un côté, les fournisseurs font des *offres monétaires* représentant leur intérêt pour la requête. De l'autre, les préférences des initiateurs pour les fournisseurs sont prises en compte au travers de la notion de *qualité*. Ces deux critères sont la base de la phase de sélection des fournisseurs de notre médiation. De plus, la médiation flexible propose la réquisition de fournisseurs lorsqu'ils ne veulent pas traiter une requête. Nous étudions notre médiation d'un point de vue théorique tout d'abord, en considérant des propriétés usuelles de microéconomie et en proposant une nouvelle définition pour prendre en compte la satisfaction à long terme des participants (initiateurs et fournisseurs). L'étude théorique est complétée par un ensemble de simulations dans différents contextes qui permettent de la comparer à d'autres mécanismes d'allocation de requêtes. Les résultats montrent que la médiation flexible assure généralement la satisfaction sur le long terme des participants et permettent de déterminer les conditions dans lesquelles il est préférable de l'utiliser.

Mots-clés : Systèmes d'information distribués, systèmes pair à pair, médiation, approche économique, répartition de charge, réquisition

Abstract

We are interested in open and dynamic distributed information systems, which put into action a large number of autonomous and heterogeneous information systems. In such context, a peer can play initiator's and provider's roles at the same time. The mediator's role consists in making link between initiators and providers, allocating queries to more relevant providers. Initiators' and providers' preferences can be antagonistic, the firsts favouring pertinent replies whereas seconds privileging to handle some queries. Often, mediators acknowledge only one point of view among these of initiator and provider.

This thesis proposes a mecanism of flexible mediation which take in account the two points of view, in order to guarantee satisfaction for all actors of system. On the one hand, the providers make *monetary offers* which represent their interests in the request. On the other hand, the interest that an initiator may have for one or another provider who treats the request is linked to the notion of *quality*. These two measure are the basis of selection step of our flexible mediation. Moreover, it can permit to requisition providers that do not want to treat query when it is necessary. Mediation combines a social aspect with an economic aspect via the use of a currency. We examine the satisfaction established by the peers in the system. We also study the properties which result from microeconomy. Through experimentation, we compare flexible mediation with other processes in variant contexts with the aim to determining the optimum usage conditions.

Keywords: Distributed information systems, peer to peer systems, mediation, economic approach, load balancing, requisition

Classification ACM

Catégories et descripteurs de sujets : Num CR [**catégorie**]: sous-catégorie—*descripteur éventuel*; Num CR [**catégorie**]: sous-catégorie.

Termes généraux : Design, Economics, Experimentation, Performance, Reliability, Theory .

Remerciements

Je profite de cette page pour remercier toutes les personnes qui m'ont soutenue pendant ma thèse, mais aussi celles que j'ai pu croiser tout au long de mon parcours universitaire. Cette liste peut sembler longue mais elle regroupe toutes les personnes qui, de près ou de loin, m'ont apporté leur aide et qui m'ont accompagnée lors d'une partie de ma vie...

Je remercie, tout d'abord, mon directeur de thèse, Patrick Valduriez, d'avoir encadré mes travaux de thèse et de m'avoir accueilli au sein de l'équipe Atlas-GDD.

Je tiens à remercier, tout particulièrement, Philippe Lamarre et Sylvie Cazalens pour m'avoir encadrée pendant ma thèse, Philippe officiellement en tant que co-encadrant et Sylvie de manière officieuse. Ils ont toujours été présents et disponibles. Merci de la confiance qu'ils m'ont accordée pendant ces quatre années en continuité de mon stage de DEA. Ils m'ont appris les rouages qu'implique une thèse, et plus généralement la recherche. Ils ont su tous les deux, m'apporter soutien et motivation lors des bons moments mais aussi lors des périodes de doute (même de manière plus personnelle).

Je remercie également Amal El Fallah-Seghrouchni et Bruno Defude de m'avoir fait l'honneur de juger mon travail et d'avoir été mes rapporteurs. Merci aussi à Anne Doucet d'avoir été la présidente de mon jury, je la remercie d'autant plus qu'Anne a permis de résoudre les aléas administratifs du dépôt de thèse[1].

Je remercie tous les membres de Login[2] et de la CJCN[3] avec qui j'ai appris les secrets des associations et de l'Université ainsi que l'organisation d'activités diverses. Je me suis découverte une âme associative que je ne soupçonnais pas. Initialement, mon but n'était pas de devenir présidente de Login ni vice-présidente de la CJCN : ce ne sont que des concours de circonstances... Pour Login, tout est partie d'une rumeur le jour du pot de rentrée des DEA tandis que pour la CJCN, je ne voulais pas abandonner Anthony seul dans sa galère. Mais en tout cas, j'ai bien apprécié de faire partie de ces associations et j'en garderai de bons souvenirs. Certains pots de Login resteront mythiques : les présents se souviendront... Je remercie tout particulièrement les personnes suivantes qui ont marquées ma vie associative et ma vie de doctorante (j'en oublierai sans doute, ne m'en voulez pas) : Anthony V., Lorraine, Fabrice, Erwan, Brice, Gwen, Emeline T., Annabelle, Emmanuel P., Vincent, Jim, Benoît, Cédric S., Amenel, Jorge Q., Vidal, Anthony P., Alban...

Je remercie également tous les gens que j'ai pu cotoyer au LINA et qui m'ont aidé d'une manière ou d'une autre dans l'avancement de ma thèse (difficultés administratives ou logistiques entre autres). Je remercie aussi tous les membres du département informatique avec qui j'ai pu travailler. Ils m'ont transmis leurs expériences au travers des cours auquel j'ai assisté en tant qu'étudiante et une fois la barrière fatidique franchie, grâce aux discussions que l'on a pu avoir.

Je remercie Laura Monceaux, rencontrée au labo à son arrivée, qui m'a soutenue dans les moments difficiles tout au long de ma thèse. Elle m'a également aidée en réalisant une relecture attentive de mon

[1] C'était prévisible qu'il allait y avoir un problème le vendredi 13 juillet... Petite pensée également à Stéphane Gançarski qui avait initialement accepté de faire partie de mon jury.

[2] Association des Jeunes Chercheurs en Informatique de Nantes

[3] Confédération des Jeunes Chercheurs Nantais

manuscrit, en y apportant un regard extérieur, même si au début, la lecture était assez difficile. Un petit coucou au passage à Oriane et Fred.

Je tiens aussi à remercier Béatrice M. qui a toujours cru en moi et qui m'a remonté le moral dans les moments difficiles. J'ai pu enfin aller la voir en Belgique une fois mon dépôt de thèse effectué. M'en veux pas de ne pas être venue plus tôt, c'était simplement par manque de temps car la thèse en demande beaucoup...

Merci à Emeline T. de m'avoir soutenue lors de la fin de ma thèse. Nos parties de tennis, discussions et autre séjour en Bretagne avant de rendre ma thèse m'ont été bénéfiques et m'ont permis de me changer les idées lors de la période difficile qu'est la rédaction de thèse. Allez, maintenant, c'est ton tour.

Je remercie toutes mes coéquipières de handball qui m'ont supportée le week-end lorsque les semaines avaient été dures, avec un merci tout particulier à Emeline B. et Nadine.

Une petite section particulière pour mes collègues de bureau, le brésilien Eduardo et le rital Anthony. Eduardo a apporté dans le bureau, l'esprit festif du Brésil avec son petit accent : "Et puis c'est tout". Il a fallu lui expliquer le principe des jours fériés français et lui imposer de les prendre. Rha la la ! Un conseil Edu, profite de ta femme Siloé et de votre petite fille, Juliana. Concernant Anthony, le dossier est plus lourd ! Il a commencé sa thèse un an après moi avec les mêmes chefs et a intégré mon bureau, le bureau des présidents (ex- maintenant). Je considère la relation existante entre nous comme assez forte, même plus besoin de se parler, un simple regard suffit. Il m'a soutenu tout au long de ma thèse, m'encourageant un maximum sur tout, me rassurant des fois, blaguant sur des choses beaucoup moins sérieuses aussi...

Voici une section particulière regroupant un grand nombre de personnes que j'ai croisées durant mon parcours universitaire dans diverses circonstances. Tout d'abord, Alice avec qui j'ai commencé la fac et avec qui j'ai connu des moments mémorables en cité U. Ah, quelles belles années que les premières années de fac...Je remercie également Éloïse et Myriam, rencontrées également en cité U et qui ont toujours cru en moi en m'encourageant (des fois en y croyant plus que moi !). Ensuite, les copains de DEUG2, qui ont bifurqué vers la route des ingénieurs avant qu'on ne se retrouve à nouveau en DEA : Grégoire, Nicolas et Aymeric. De mes années de fac, restera également Véronique, partie à Toulouse pour faire une thèse : il a été dur d'assumer notre statut de filles parmi les différentes promotions d'informaticiens que nous avons traversées mais on a réussi, hein, Véro. Lors de ma licence d'informatique, j'ai également croisé la route de deux philosophes, Jérôme et Rodolphe, rencontre très intéressante. Et le dernier que je citerai ici est Didier, compagnon de galère en DEA qui a préféré retourner vivre à la Réunion et il a bien raison.

Enfin, un grand merci à mes parents, mon frère, ma soeur, mes grands-parents Roger et Ginette, ma grand-mère Gisèle ainsi qu'à mon papi Joseph, décédé trop tôt pour pouvoir me voir grandir. Ils n'ont pas toujours compris ce que je faisais dans ma thèse mais ils m'ont toujours soutenue quelles que soient les circonstances.

Bon vent à tous, et encore un grand merci. Une page s'est tournée, à moi d'écrire la suite maintenant...

Sommaire

– *Corps du document* —

Introduction 1
1 Etat de l'art 5
2 Représentation des systèmes à médiateurs de requêtes 49
3 La médiation flexible 67
4 Implémentations et expérimentations 117
Conclusion générale 163

– *Pages annexées* —

Bibliographie 169
Liste des tableaux 177
Liste des figures 179
Table des matières 181
Index alphabétique 185

Introduction

Lorsqu'une personne recherche des informations pour un voyage, elle peut s'adresser à un moteur de recherche spécialisé dans les voyages. Elle lui précise ses critères de recherche comme par exemple, les dates de son voyage, le moyen de transport qu'elle désire employer, sa fourchette de prix, etc. Le moteur de recherche interroge alors les agences de voyages qu'il connaît afin d'obtenir des réponses remplissant les critères désirés par le client. Chacune des agences présente au moteur de recherche ce qu'elle peut fournir comme informations. Ces propositions peuvent être plus ou moins en rapport avec la demande formulée par le client. En effet, les agences peuvent tout à fait proposer d'autres voyages, correspondant par exemple à une promotion actuellement en cours chez elles. Le moteur de recherche réalise sa sélection parmi les réponses proposées et retourne ensuite les agences de voyages concernées : il peut renvoyer au client l'ensemble des réponses ou encore celles qu'il considère comme étant les plus approchantes de la demande formulée. Dans ce scénario, nous appelons **médiation**, le fait de sélectionner un certain nombre de fournisseurs susceptibles de répondre de manière pertinente à la requête de l'initiateur. Une médiation fait intervenir plusieurs rôles : **médiateur** (le moteur de recherche dans l'exemple), **initiateur de requêtes** (le client) et **fournisseur d'informations** (les agences de voyages). Les fournisseurs peuvent s'abonner auprès de médiateurs en leur déclarant leurs capacités, reflétant les requêtes auxquelles ils sont capables de répondre. Une médiation commence au moment où le médiateur reçoit une requête de la part d'un initiateur. Le médiateur sélectionne les fournisseurs à qui il va allouer la requête parmi l'ensemble de ceux qui sont aptes à y répondre.

Des travaux sur différents mécanismes s'intéressant à la médiation ont été effectués. Des mécanismes classiques font juste la liaison entre les initiateurs et les fournisseurs en examinant les capacités des fournisseurs et les demandes des initiateurs. Ils proposent à ces derniers, l'ensemble des fournisseurs pouvant répondre aux requêtes ou alors indiquent les réponses obtenues en interrogeant eux-même les fournisseurs [69, 39]. D'autres mécanismes [63, 20, 35] permettent aux initiateurs de donner leurs avis sur les fournisseurs que les médiateurs leur proposent. Ainsi, par ce biais, une réputation peut être établie sur chacun des fournisseurs intervenant. Celle-ci est ensuite utilisée par le médiateur pour l'aider à réaliser sa sélection. Certains mécanismes [67, 82, 76] imposent aux fournisseurs de traiter les requêtes, même s'ils ne le souhaitent pas, dans la mesure où ils sont capables de les réaliser. Ils agissent dans le but de garantir une réponse à l'initiateur. D'autres travaux enfin utilisent des échanges monétaires entre le médiateur et les fournisseurs ou entre les initiateurs et les fournisseurs. Un exemple de ce type de mécanismes peut être les ventes aux enchères [84, 57] où les fournisseurs font des offres dans le but d'acquérir un objet.

Comment prendre en compte le point de vue des initiateurs et celui des fournisseurs ?

Dans une médiation, les initiateurs et les fournisseurs ont chacun des intérêts à défendre. Les initiateurs désirent obtenir un certain nombre de fournisseurs pouvant leur proposer des réponses ayant une pertinence correcte vis-à-vis de leurs requêtes. Les fournisseurs souhaitent traiter des requêtes et, si possible, des requêtes correspondant à leurs attentes. Par exemple, dans le cas des agences de voyages, ces dernières sont satisfaites lorsqu'on leur demande des voyages, mais le sont d'autant plus lorsque ces requêtes correspondent aux promotions qu'elles ont en cours. Le problème est alors de définir un

mécanisme de médiation qui réussit à tenir compte du point de vue de ces deux rôles. Notre étude se place dans le contexte d'un système pair à pair, où, éventuellement, un pair peut jouer plusieurs rôles. Un système pair à pair est composé d'un grand nombre de sources de données, entraînant une difficulté supplémentaire pour la médiation. Les fournisseurs sont **autonomes** car ils sont libres d'intégrer ou de quitter le système comme ils le souhaitent et **distribués**, ce qui rend la recherche des informations dont ils disposent, difficile.

Dans tous les travaux présentés, peu permettent de prendre réellement en compte, à la fois le point de vue de l'initiateur et celui des fournisseurs dans la sélection réalisée par le médiateur lorsqu'il reçoit une requête. Ceux qui le permettent, ne remplissent pas totalement les attentes que nous avons, à savoir en particulier, de permettre de fournir à l'initiateur le nombre de réponses qu'il a demandé, de s'intéresser à l'intérêt que les fournisseurs portent à la requête, etc. De plus, la résolution de ce problème est aussi motivée par le fait que, comme les pairs sont autonomes, s'ils ne sont pas satisfaits de ce qui leur est proposé, ils peuvent partir du système, ce dernier se retrouvant pénalisé. Dans cette thèse, nous nous attachons à trouver un mécanisme de médiation pour résoudre ce problème. La question qui se pose alors est de savoir sur quels critères peut se baser la sélection des fournisseurs.

Dans ce contexte, plusieurs critères peuvent intervenir. L'**offre** peut traduire l'intérêt que le fournisseur porte à la requête qui lui est proposée. Elle peut être représentée sous la forme d'un montant si une monnaie est utilisée dans le mécanisme ou alors sous la forme de valeurs sur des caractéristiques que le fournisseur peut proposer. Par exemple, dans le contexte des agences de voyages, ces dernières proposent certaines caractéristiques sur leurs voyages, correspondant à leurs offres. Le médiateur peut alors tenir compte du montant de l'offre ou des caractéristiques composant l'offre pour prendre sa décision. Par exemple, dans le cas d'offres monétaires, il peut choisir le fournisseur ayant fait l'offre la plus forte. Les processus typiques utilisant ce critère sont les ventes aux enchères. Ensuite, on peut aussi considérer le **coût** annoncé par un fournisseur. Il peut indiquer le prix que le pair estime devoir supporter pour la réalisation de la requête. On parle souvent de coût de traitement. Par exemple, un médiateur peut choisir le fournisseur ayant le plus petit coût de traitement pour réaliser la requête. Un autre critère possible peut être la **qualité des réponses**. Lorsqu'un initiateur de requêtes envoie une requête à faire, il souhaite que les résultats obtenus s'approchent au maximum de ses attentes. Il s'intéresse à la qualité des réponses qui lui sont fournies. La notion de qualité peut inclure de nombreuses composantes. Ainsi, l'initiateur peut être intéressé par le temps de réponse, la fraîcheur des données, le nombre de réponse , etc. D'autres intérêts beaucoup plus subjectifs et moins quantifiables peuvent aussi être pris en compte tels que la pertinence des données, interprétée par l'initiateur lui-même. Un autre critère que nous évoquons ici, est la **confiance des pairs** envers d'autres pairs. Dans un processus de médiation, les échanges entre les différents pairs sont nombreux. Mais, la question primordiale est de savoir avec qui collaborer sans prendre de risques excessifs. Cette notion correspond à la confiance qu'un pair peut placer dans les autres pairs, représentée principalement par la réputation dont on dispose sur ces pairs. Elle traduit l'opinion que l'on peut avoir sur les pairs et/ou sur leurs données. Par exemple, la réputation peut être obtenue grâce à des relations passées, permettant d'affiner la confiance que l'on place dans quelqu'un ou dans quelque chose. Enfin, le dernier critère présenté est la **qualité des fournisseurs**. En fait, ce critère correspond à la composition des deux critères précédemment énoncés, à savoir la qualité des réponses et la confiance des pairs envers d'autres. Ce critère permet à la fois d'évaluer les fournisseurs et leurs réponses.

Une médiation combinant deux critères

En examinant l'ensemble de ces critères de sélection, l'idée est venue de combiner deux d'entre eux afin de définir un nouveau processus de médiation que nous appelons **médiation flexible**, permettant de prendre en compte à la fois les intérêts des initiateurs et ceux des fournisseurs. Nous nous sommes intéressés plus particulièrement aux critères d'**offre monétaire** et de **qualité des fournisseurs** pour réaliser la sélection de ces derniers. En effet, le premier critère permet de traduire l'intérêt qu'un fournisseur porte à la requête. L'offre peut être positive ou négative selon, si le pair souhaite ou non la traiter. La qualité des fournisseurs, quant à elle, permet plutôt de prendre en compte le point de vue de l'initiateur car cela lui assure une certaine garantie sur les fournisseurs qui lui sont proposés. Réussir à combiner ces deux critères est un problème assez délicat dans le sens où chacun représente un rôle différent, les objectifs étant potentiellement opposés. Un autre problème se pose également, à savoir, réussir à garantir que l'initiateur recevra le nombre de fournisseurs qu'il a demandé pour sa requête qu'il y ait assez de pairs désirant faire la requête ou non.

Nous proposons une étude théorique du processus de médiation afin d'étudier son comportement global et celui des pairs qui y participent. Comme les fournisseurs font des offres monétaires et que celles-ci interviennent dans le calcul de la sélection, nous considérons des propriétés microéconomiques [48]. Elles ont pour but de garantir des comportements précis que la médiation est susceptible d'avoir et ainsi, de garantir aux pairs certains résultats. Parmi ces propriétés, certaines vont plus s'attacher à étudier l'impact que produisent les offres faites par les fournisseurs dans le processus tandis que d'autres s'occupent plutôt de l'aspect social existant dans le système.

Les expérimentations que nous avons menées par simulation ont pour but de montrer la flexibilité de notre médiation. Pour cela, nous nous intéressons tout d'abord à une étude basée sur l'exécution d'un seul tour de médiation dans le but de comprendre de manière simple comment fonctionne la médiation et d'observer le comportement des pairs. Ensuite, nous procédons à des simulations sur le long terme afin de voir comment la médiation flexible réagit et s'adapte dans ce contexte. Afin d'obtenir des points de comparaison, nous appliquons la médiation flexible dans trois contextes d'utilisation distincts, chacun permettant de considérer une méthode de sélection différente, basée sur des critères particuliers.

Contributions et organisation de la thèse

Le chapitre 1 est dédié à l'étude des différents mécanismes utiles à l'analyse des processus de médiation. Ainsi, nous étudions tout d'abord les mécanismes permettant de gérer l'allocation de requêtes par l'intermédiaire de médiateurs. De plus, comme nous l'avons déjà énoncé, certains processus peuvent être économiques. Nous présentons la théorie de la microéconomie avant d'introduire des mécanismes économiques classiques tels que les ventes aux enchères ou moins classiques tels qu'un mécanisme d'imposition de requêtes. Puis, nous proposons un aperçu de travaux utilisant la notion de confiance et plus particulièrement de réputation. Enfin, nous présentons une étude comparative de cinq travaux mettant en jeu, à la fois des offres ou des coûts et une notion de qualité. L'ensemble de tous les travaux présentés nous permettent de constater qu'il n'existe pas de mécanisme permettant de prendre *réellement* en compte le point de vue des initiateurs et celui des fournisseurs.

Dans le chapitre 2, nous nous attachons à modéliser les systèmes que nous cherchons à étudier. Nous les appelons **systèmes à médiateurs de requêtes**, où interviennent les différents processus de médiation ainsi que les pairs auxquels nous nous intéressons. Cette modélisation a pour but de permettre l'étude du comportement des processus de médiation. Un ensemble de définitions sur les différents éléments constituant ces systèmes y est introduit. Une fois cette représentation réalisée, nous pouvons revenir au

problème, à savoir prendre en compte à la fois les intérêts des initiateurs et ceux des fournisseurs. Pour cela, nous introduisons les définitions des utilités des différents rôles pouvant apparaître dans le système. Leur utilité traduit la satisfaction qu'ils retirent du système.

Le chapitre 3 définit une nouvelle médiation, la **médiation flexible** [41] qui permet de combiner à la fois les qualités et les offres des fournisseurs afin de déterminer la sélection que le médiateur propose à l'initiateur. Ensuite, nous réalisons une comparaison de la médiation flexible avec les cinq mécanismes que nous avons retenus dans le chapitre 1 pour leur pertinence vis-à-vis du problème que nous cherchons à résoudre. Nous effectuons cette étude comparative dans le but de montrer les avantages et inconvénients que notre processus apporte par rapport à des systèmes approchants. Par la suite, nous procédons à une étude théorique du processus à partir de propriétés issues de la microéconomie [41]. Afin de mieux cerner le comportement de la médiation flexible lorsqu'elle est exécutée un grand nombre de fois successivement, nous définissons aussi des propriétés sur le long terme.

La partie théorique est complétée dans le chapitre 4 par une analyse et une comparaison de la médiation flexible dans différents contextes d'utilisation par l'intermédiaire de simulations [41, 42, 43]. Elles ont été réalisées dans le but d'étudier la flexibilité du processus et le comportement des pairs.

Le dernier chapitre conclut cette thèse en dressant un bilan de nos travaux avant de discuter de perspectives d'approfondissement et d'élargissement de nos travaux futurs.

CHAPITRE 1

Etat de l'art

Nous nous intéressons dans ce chapitre aux différents types de processus de médiation existants afin de voir comment nous pouvons mettre en place une médiation prenant en compte à la fois le point de vue des initiateurs et celui des fournisseurs. Tout d'abord, nous présentons des mécanismes d'allocation de requêtes indiquant le fonctionnement général des médiations : ils fonctionnent avec un médiateur faisant le lien entre les initiateurs de requêtes et les fournisseurs. Les différents points de vue que nous cherchons à faire intervenir dans notre médiation apparaissent dans deux autres types de mécanismes. Les premiers sont des mécanismes économiques où de l'argent est utilisé pour les échanges entre les différents acteurs lors du déroulement d'une médiation. Le second type de mécanismes fait intervenir une notion de confiance, confiance pouvant exister entre les différents pairs. Enfin, nous terminons cet état de l'art en présentant cinq articles que nous comparons. Nous les avons retenus pour leur pertinence vis-à-vis du problème qui nous intéresse, à savoir la prise en compte à la fois du point de vue des initiateurs de requêtes et des fournisseurs d'informations.

1.1 Mécanismes d'allocation de requêtes avec déclarations de capacités ou schémas

Nous présentons dans cette section des systèmes où les médiateurs ont à leur disposition, des informations sur les possibilités de travail des fournisseurs. Ainsi, dans le cadre des **médiateurs et intégrateurs de données dans les bases de données**, les fournisseurs déclarent leur schéma global tandis que les **matchmakers et brokers** s'attachent plus à utiliser les déclarations de capacités faites par les fournisseurs. Nous présentons ces deux types de médiateurs. Les initiateurs de requêtes envoient leurs requêtes aux médiateurs, ceux-ci interrogeant des fournisseurs afin d'obtenir une réponse. Nous étudions ensuite plus en détail le **protocole réseau contractuel** (CNP). Ce mécanisme est un peu à part vis-à-vis des deux premiers car il peut fonctionner sans déclaration de capacités ou de schéma. Nous verrons que ces systèmes n'utilisent pas exactement les termes de médiateur, fournisseur et initiateur.

1.1.1 Médiateurs et intégrateurs de données dans les bases de données

Le terme de **médiateur** a été introduit dans le domaine des bases de données (BD) par Wiederhold [82] en 1992. Un médiateur sert à faire le lien entre les initiateurs de requêtes et l'ensemble des fournisseurs. L'objectif des médiateurs est de gérer l'hétérogénéité des sources (fournisseurs) en faisant croire aux initiateurs qu'ils interrogent un système centralisé et homogène alors que les fournisseurs interrogés sont répartis, autonomes (au niveau de la gestion de leur schéma) et hétérogènes. Le problème principal du médiateur est de situer l'emplacement des données et de fournir des réponses pertinentes dans un temps relativement court. Pour cela, les médiateurs et intégrateurs de données dans les BD se basent sur les schémas déclarés par les sources de données pour réaliser leur choix de sélection. Cependant, d'autres problématiques concernent les médiateurs de BD telles que la gestion de la confidentialité

des données ou encore le contrôle d'accès aux données. Mais, nous ne les présentons pas ici car elles ne font pas partie du problème auquel nous nous intéressons.

L'architecture classique d'une médiation dans le cadre des bases de données peut être observée sur la figure 1.1. Il y a quatre types d'acteurs. Ainsi, on retrouve le **médiateur** en position centrale. Les **applications clientes** correspondent aux initiateurs de requêtes. Les **sources de données** représentent les fournisseurs de données. Les **adaptateurs** (*wrappers*) sont une spécificité des médiateurs de BD : ils jouent le rôle de traducteur entre le médiateur et les sources. En effet, à cause de l'hétérogénéité des sources, ces deux derniers acteurs n'utilisent pas nécessairement le même langage de communication.

Le principe général de la médiation en BD est le suivant. L'initiateur de requêtes envoie une requête au médiateur. Celui-ci va diviser cette requête en sous-requêtes qu'il va envoyer aux sources aptes à répondre. Une fois qu'il a reçu l'ensemble des réponses, il les recompose pour répondre à la requête qui avait été posée par l'initiateur.

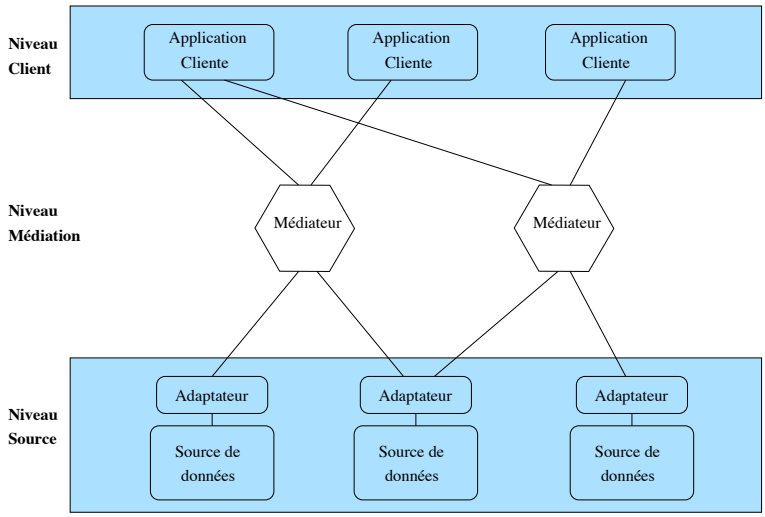


Figure 1.1 – Architecture de référence DARPA I3

Nous voyons sur l'architecture DARPA I3 (figure 1.1) que le problème de l'hétérogénéité des sources est géré en utilisant des adaptateurs, entité que DISCO [76] utilise. Un adaptateur étant rattaché à une source, il connaît le langage utilisé par celle-ci. En ce qui concerne les communications avec le médiateur, un langage algébrique est généralisé entre les adaptateurs et les médiateurs. D'autres solutions en plus des adaptateurs, ont été proposées pour contrer le problème de l'hétérogénéité des sources. Par exemple, Yerneni *et al.* [86] mettent en place des modèles (templates) afin d'indiquer les attributs existants dans les vues fournies par une source, ce qui se rapproche du fonctionnement des formulaires HTML. Ces modèles permettent en plus de fournir des indications sur ces attributs, en précisant les plages de valeurs sur lesquelles ils sont définis ou si l'attribut est obligatoire. Pour sa part, le médiateur de Wiederhold [82] utilise un système expert afin de traduire la requête posée en algèbre relationnelle, celle-ci étant comprise par les sources.

Nous explicitons maintenant plus en détail les différentes étapes présentées précédemment. Lorsque le médiateur reçoit une requête, il doit établir un **plan d'exécution** (souvent représenté sous la forme d'un arbre algébrique) afin de pouvoir y répondre. Un plan d'exécution correspond à la manière de décomposer la requête reçue en sous-requêtes. En même temps que le médiateur décompose la requête, il crée une

requête temporaire qui lui permettra par la suite de combiner les résultats obtenus pour chaque sous-requête. Lors de la réalisation d'un plan, il simplifie les opérations contenues dans la requête principale (par exemple, opérations "join" ou "select" de SQL). Comme plusieurs décompositions sont possibles, il établit un plan d'exécution pour chacune d'elles.

Ensuite, pour chaque plan possible, le médiateur doit réaliser une sélection parmi les sources qu'il connaît afin d'attribuer chaque sous-requête à une source. La majorité des médiateurs BD stocke localement une représentation des données des sources. Ainsi, Yerneni *et al.* [86] demandent aux sources de leur fournir des vues de leurs données dans le but de les utiliser de la manière dont ils le souhaitent, les combinant avec des opérations telles que des sélections, des projections, des unions et des jointures. Dans DISCO [76], le médiateur obtient le schéma local des sources auprès des adaptateurs. Il peut par la suite l'utiliser comme il le désire. Cependant, nous sommes dans un système dynamique, ce qui entraîne que des données peuvent être ajoutées, modifiées ou supprimées rapidement au niveau des sources. Le problème est que, pour chaque requête, le médiateur n'interroge pas les sources sur leurs schémas locaux : il n'a donc pas connaissance des modifications éventuelles faites sur les schémas locaux des sources. Une solution proposée par Wiederhold [82] consiste à placer des triggers à l'intérieur même des sources de données. Ces triggers se déclencheront lors d'un changement sur une donnée. Une fois cette phase d'étude des sources faite sur la base d'une des techniques prédéfinies, le médiateur réalise une sélection des sources aptes à répondre en fonction de leurs métadonnées, de leurs capacités ou de leur schéma local.

Pour désigner le plan le plus adapté parmi l'ensemble de ceux qu'il a retenus, le médiateur calcule pour chacun son coût d'exécution pour la requête. Pour cela, plusieurs méthodes existent. La première se base sur le fait que les sources acceptent de lui fournir cette information. Une autre possibilité proposée par Adali *et al.* [4], est de sauvegarder dans un cache les expériences précédentes et plus particulièrement leur coût afin d'estimer le coût probable du plan suggéré. Si le médiateur le juge trop excessif, il élimine ce plan et en choisit un autre. Cependant, même si le plan est retenu, il peut arriver que les sources ne puissent supporter certaines opérations proposées dans les sous-requêtes. Cet aspect est pris en compte dans DISCO [76] où cette caractéristique est intégrée dans le calcul du plan d'exécution : les adaptateurs indiquent les limitations de leurs sources lors de leur enregistrement. Le médiateur peut aussi s'appuyer sur des formules de coût ou par des tests effectués auparavant auprès des sources.

De plus, une phase d'optimisation basée sur la parallélisation de certaines opérations dans les sous-requêtes peut être utilisée. Son but est de diminuer encore le coût d'exécution. Ainsi, comme présenté par Ozsu et Valduriez dans [89], plusieurs niveaux de parallélisation existent. Tout d'abord, lors de la subdivision en sous-requêtes, certaines opérations sont identifiées comme étant indépendantes les unes des autres et donc, le médiateur peut faire en sorte qu'elles ne soient pas dans la même sous-requête, étant certain que leurs résultats ne sont pas interdépendants. De même, à l'intérieur même d'une sous-requête destinée à une source, il peut arriver que des opérations soient aussi indépendantes et ainsi, l'indiquer aux sources pour pouvoir les exécuter séparément.

Une fois le plan d'exécution choisi, le médiateur envoie les sous-requêtes aux sources qui les traitent et renvoient leurs résultats. Il recompose ces derniers et envoie la réponse finale à l'initiateur de requêtes.

Les médiateurs de bases de données sont utilisés dans le cas où les sources (BD) utilisent un schéma local afin de symboliser l'ensemble de leurs données. Pour notre part, les mécanismes que nous étudions ne sont pas basés sur des schémas de bases de données mais sur les capacités des fournisseurs tels que présentés dans la section suivante. Les médiateurs peuvent se trouver confrontés au problème suivant : établir un schéma commun à toutes les sources peut s'avérer être difficile. En effet, vu l'hétérogénéité des sources, chacune a sa manière d'exprimer ses données et il devient alors difficile aux médiateurs

de coordonner le tout. De plus, ces derniers ne peuvent proposer qu'une seule réponse à un client pour une requête donnée. Cette réponse peut ne pas être la plus pertinente car elle est obtenue en fonction de son coût d'exécution et de la manière de décomposer la requête. De plus, rien n'assure que cette requête obtienne une réponse. En effet, si le médiateur n'a pas reçu toutes les sous-réponses, il ne pourra pas fournir de réponse à l'initiateur car la recomposition ne sera pas totale. Le fait que l'initiateur ne puisse obtenir qu'une seule réponse, sans garantie que celle-ci soit effective est un des problèmes auxquels nous nous intéressons. En effet, nous désirons garantir que l'initiateur puisse demander le nombre de réponses qu'il souhaite et lui assurer d'obtenir ce nombre.

1.1.2 Matchmaking, brokering et intégration de services

D'autres mécanismes de médiation utilisant un médiateur existent comme par exemple, le matchmaking, le brokering, les blackboards... Ici, les fournisseurs informent le médiateur de leurs **capacités**. Celles-ci correspondent aux informations concernant les services qu'ils sont aptes à réaliser pour un initiateur de requêtes. On se situe ici dans le domaine des systèmes multi-agents. La coopération entre tous les acteurs du système (initiateur de requêtes / médiateur / fournisseur) se fait sur deux bases principales : la confidentialité des renseignements personnels des agents [24] et le mode de fonctionnement des différents médiateurs [39].

1.1.2.1 Mode de fonctionnement

Les agents peuvent vouloir protéger leurs renseignements personnels. Par exemple, pour l'initiateur de requêtes, ce sont ses préférences sur les requêtes qu'il envoie au médiateur, auxquelles s'ajoutent certaines informations complémentaires permettant de préciser d'éventuels besoins sur ses requêtes. Pour sa part, le fournisseur indique ses capacités et peut souhaiter que les autres agents ne les connaissent pas. La manière dont ces renseignements sont conservés influence le fonctionnement du médiateur [24]. Certains médiateurs vont plus ou moins protéger cette confidentialité vis-à-vis de leurs partenaires de négociation. La table 1.1 classe les médiateurs existant selon le degré de confidentialité que chacun garde par rapport aux initiateurs de requêtes et aux fournisseurs.

Préférences initialement connues par	Capacités initialement connues par		
	F	F + M	F+ M + I
I	(broadcaster)	"front-agent"	**matchmaker**/ yellow-pages
I + M	anonymizer	**broker**	recommender
I + M + F	blackboard	introducer/bodyguard	arbitrator

Table 1.1 – Types de médiateurs selon la confidentialité des préférences et des capacités [24] avec I l'initiateur de requêtes, M le médiateur, F le fournisseur

Nous allons nous intéresser plus particulièrement à deux d'entre eux : le **matchmaker** et le **broker** [25] car leur fonctionnement se rapproche de ce que nous recherchons. De plus, nous constatons dans la table 1.1 qu'ils ne garantissent pas la même confidentialité : le broker ne divulgue aucune information sur ses partenaires tandis que le matchmaker dévoile les capacités des fournisseurs.

1.1.2.2 Matchmaking et brokering

La première phase de fonctionnement de ces deux types de médiateurs est commune. Les fournisseurs s'abonnent auprès du médiateur en l'informant de leurs capacités (étape 0 sur la figure 1.2). Avant de stocker ces données dans sa base, le médiateur peut les convertir pour améliorer leur réutilisation par la suite. Il peut les transformer sous forme de mots clés, de structures de données, de contraintes finies, de descriptions de services,...(LARKS [74, 75], CDL [81], RDF(S) [61]). Mais, lors de cette phase, un autre problème se pose pour le médiateur, à savoir l'hétérogénéité des fournisseurs. En effet, deux fournisseurs peuvent présenter le même type d'informations mais les indiquer sous deux déclarations de capacités différentes : le médiateur doit être capable de gérer ces nuances. Plusieurs techniques existent afin de pouvoir remédier à ce problème. Ainsi, des langages d'échange d'ontologies [1] tels que OIL [29] (Ontology Inference Layer) et XOL [85] (XML-Based Ontology Exchange Language) ont été mis en place afin de résoudre une partie du problème causé par l'hétérogénéité des fournisseurs. Affiner plus particulièrement les descriptions des capacités des fournisseurs a aussi été proposé par Cassandra *et al.* dans [15].

Une fois cette phase de stockage des capacités réalisée par le médiateur, un initiateur de requêtes envoie une tâche au médiateur qui s'engage à y répondre en recherchant les fournisseurs les plus pertinents. Sur la base des descriptions de capacités fournies par les abonnés, il réalise une sélection : soit en faisant une sélection précise ou approximative à partir des capacités déclarées par les fournisseurs, soit en utilisant des critères supplémentaires fournis par l'initiateur de requêtes, soit en se servant des expériences passées avec les fournisseurs pour les sélectionner [88].

Le brokering et le matchmaking comportent tout de même des différences, la plus importante se situant dans l'utilisation de la liste des fournisseurs sélectionnés (figure 1.2). Nous allons voir par la suite l'importance de cette différence ainsi que les avantages et inconvénients de chaque technique.

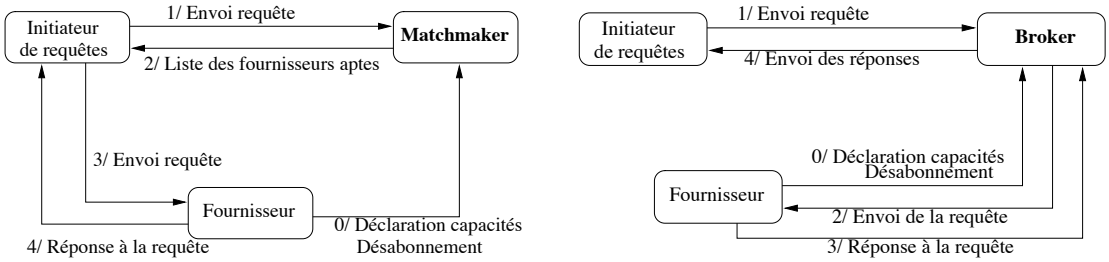


Figure 1.2 – Fonctionnement d'un matchmaker et d'un broker

Une fois la sélection réalisée, le matchmaker renvoie la liste des agents retenus à l'initiateur de requêtes afin que celui-ci s'adresse directement à eux (figure 1.2 : schéma de gauche, étape 2). Ce procédé peut permettre une seconde sélection par l'initiateur selon des critères plus personnels pouvant être basés par exemple sur des résultats déjà obtenus lors d'expériences passées. Un exemple de matchmaker est RETSINA/LARKS [74, 75]. Celui-ci permet à l'initiateur de requêtes de demander au matchmaker d'appliquer un filtrage précis (selon cinq critères possibles) afin de spécifier le niveau de précision attendu pour ses réponses.

Le broker, quant à lui gère la totalité du processus, de la requête à la réponse (figure 1.2 : schéma de

[1] En informatique, une ontologie est un ensemble structuré de concepts permettant de donner un sens aux informations (définition Wikipédia).

droite). En effet, le résultat fourni à l'initiateur (étape 4) correspond à l'ensemble des réponses qu'il a lui-même demandé aux fournisseurs (étapes 2 et 3). De cette manière, l'initiateur de requêtes n'a aucun contact avec les fournisseurs. InfoSleuth [54, 7] fait partie des mécanismes de brokering précurseurs où les agents utilisent une ontologie commune pour s'abonner et envoyer leurs requêtes.

Selon le fonctionnement utilisé par chacun des médiateurs, des avantages et des inconvénients apparaissent.

- Tout d'abord, comme toutes les communications passent par le broker, celui-ci peut constituer un goulot d'étranglement bloquant l'ensemble du mécanisme. Comme le matchmaker ne fait que fournir une liste de noms de fournisseurs à l'initiateur de requêtes, il a moins de chances d'être surchargé à ce niveau.
- Un autre inconvénient directement lié au problème précédent est le cas où le médiateur a une défaillance. En effet, l'absence du broker bloque l'ensemble du système tandis que les initiateurs du matchmaker peuvent tout de même discuter avec les fournisseurs précédemment fournis puisqu'ils connaissent ces fournisseurs et qu'ils savent le type de requêtes que ces derniers savent traiter.
- Un inconvénient concernant le matchmaker est que l'initiateur de requêtes doit être capable de dialoguer avec les fournisseurs qui lui sont proposés, problème qui ne se pose pas en brokering, le broker gérant la totalité du processus.
- Une dernière différence importante entre les deux modèles de médiations est la protection des renseignements privés comme nous l'avons déjà évoquée plus haut. Ainsi, dans le cas du matchmaking, les initiateurs de requêtes peuvent se passer du médiateur car ils peuvent dialoguer directement avec les fournisseurs, apprenant au fur et à mesure les capacités de ces derniers. Ces données ne sont donc pas protégées par le matchmaker. Comme le broker de son côté gère l'ensemble des communications, les informations sur les autres acteurs sont gardées privées. La protection plus ou moins forte faite sur les renseignements privés peut être vue comme un avantage ou un inconvénient selon l'utilisation que l'on désire faire du mécanisme.

L'utilisation d'un matchmaker ou d'un broker est appropriée lorsque les fournisseurs utilisent des capacités dans le cadre du problème d'interaction entre les agents. Les deux techniques précédemment décrites conviennent lorsque le nombre de fournisseurs est de l'ordre de quelques dizaines maximum, que le langage de déclaration des capacités est partagé par tous, que dans le cas du matchmaker, les initiateurs sont capables de communiquer avec les fournisseurs...Par contre, cette approche atteint ses limites si l'on veut donner plus d'autonomie aux agents en ce qui concerne les requêtes. En effet, cela implique un langage de déclaration et une ontologie plus développés afin de pouvoir exprimer plus d'éléments à l'intérieur même d'une requête, le langage devant rester commun à tous. De plus, la technique du brokering constitue un frein au passage à l'échelle, constituant un point de blocage potentiel en cas de présence d'un grand nombre d'agents. Enfin, les médiateurs utilisent seulement les capacités des fournisseurs comme critère de sélection. Cela peut amener le médiateur à sélectionner des fournisseurs capables de traiter une requête mais dont le résultat fourni est de mauvaise qualité par rapport à ce que l'initiateur attendait. Ce dernier point empêche la prise en compte de l'opinion des initiateurs dans la méthode de sélection. Cependant, sur le fonctionnement de ces mécanismes, nous retenons pour la suite, le fait qu'ils utilisent les capacités des fournisseurs comme critère de sélection.

1.1.3 Protocole réseau contractuel *(Contract Net Protocol)*

Le **protocole réseau contractuel** (CNP) a été proposé par Smith [69, 70] en 1980 dans le domaine des systèmes multi-agents. Il est utilisé dans le cadre de résolveurs de problèmes où des contrats sont

établis entre des agents afin de trouver des réponses à ces problèmes. C'est un protocole de haut niveau pour la communication entre des nœuds (constituants du système) dans un système décentralisé. L'ensemble des nœuds est nommé un ***Contract Net***. Chaque nœud contient des sources de données et peut jouer le rôle de **gestionnaire** [2] et de **contractant** [3]. Cependant, lors de la négociation d'un contrat, un nœud ne peut pas avoir le double rôle de gestionnaire et contractant. Contrairement aux deux types de mécanismes présentés précédemment, il ne se base ni sur les schémas de bases de données, ni sur les capacités des fournisseurs, il est plus utilisé comme mécanisme d'appariement dans lequel les nœuds sont coopératifs, à savoir qu'ils coordonnent leurs activités afin de résoudre le problème posé.

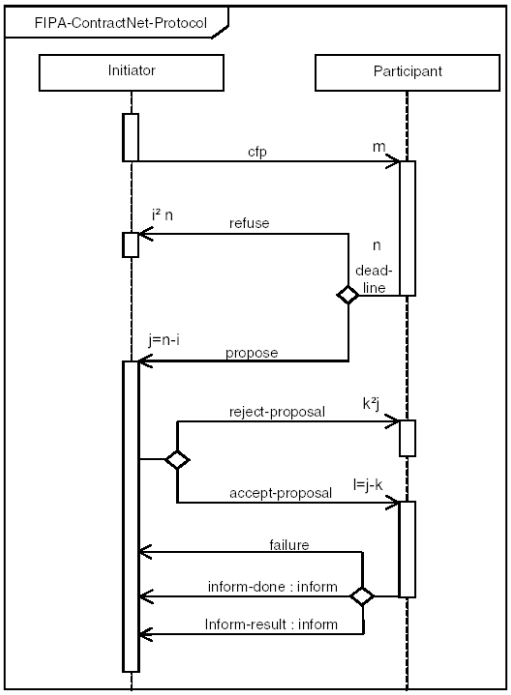


Figure 1.3 – FIPA Contract Net Protocol

La figure 1.3 illustre les différentes étapes du CNP fourni par la spécification de la FIPA (dans le suite, nous indiquons entre parenthèses les noms des étapes de notre explication). La FIPA [30] est une organisation dont le but est de promouvoir les technologies et les standards du domaine des systèmes multi-agents et de gérer leur intéropérabilité avec d'autres technologies. Dans la spécification présentée dans la figure 1.3, on constate une différence au niveau des noms de rôles par rapport à ceux employés par Smith : l'*initiator* correspond au gestionnaire, le *participant* au contractant [4]. Un gestionnaire reçoit un problème complet à résoudre. Il le subdivise en sous tâches si le problème est trop gros. Il cherche alors à allouer ces tâches à d'autres nœuds s'il n'est pas capable de les faire tout seul. Le gestionnaire a deux manières de procéder :

1. Il peut envoyer directement une tâche à un nœud sans qu'il y ait d'accord préalable car il est sûr que ce nœud est capable de réaliser la tâche. Ce dernier a tout de même la possibilité de refuser ce travail mais en justifiant son refus. Le gestionnaire doit alors choisir un autre nœud.

[2] Agent lançant une annonce pour résoudre un problème.
[3] Agent recevant les annonces des gestionnaires et pouvant y répondre.
[4] Nous utilisons par la suite les termes employés par Smith.

2. La seconde technique est l'envoi par le gestionnaire d'une annonce pour une tâche aux contractants (`cfp` [5]). Son envoi peut être fait à l'ensemble des nœuds (*broadcast*), à un sous-ensemble de nœuds (*limited broadcast*) ou à un seul nœud (*point-to-point*). Cette annonce est constituée de quatre éléments :
   - les caractéristiques d'éligibilité des nœuds,
   - une brève description de la tâche (utile aux contractants afin qu'ils puissent classer les annonces reçues selon leur intérêt pour la tâche),
   - les caractéristiques des offres (qui peuvent ne pas être uniquement monétaires) et,
   - la date d'expiration de l'annonce au delà de laquelle celle-ci n'est plus valable (`deadline`).

   Lorsqu'un contractant reçoit une annonce, il regarde les critères d'éligibilité. S'ils correspondent à ses propres caractéristiques, il étudie la description de la tâche afin d'évaluer son intérêt pour cette annonce. Il la classe parmi les autres annonces qu'il a déjà en sa possession et qui n'ont pas encore atteint leur date d'expiration. Un contractant ne peut faire d'offre tant que la tâche qu'il a déjà en cours n'est pas terminée, ceci afin d'éviter que les tâches soient stockées dans la file d'attente des nœuds. Cela a pour conséquence que le nœud le plus apte pour une tâche donnée peut ne pas répondre ou alors que le gestionnaire n'obtienne pas d'offre car les contractants ne sont pas libres, pas éligibles ou qu'ils ont classé cette tâche comme ayant peu d'intérêt. Lorsqu'un contractant est libre, il étudie son classement dans le but de déterminer quelle sera la prochaine tâche qu'il exécutera. Si plusieurs choix sont équivalents, il prend la tâche la plus récente considérant que les plus anciennes ont pu être déjà attribuées. Il réalise alors une offre ou indique qu'il refuse de faire cette tâche (`propose` ou `refuse`).

   Pour une annonce donnée, le gestionnaire reçoit les offres des contractants ayant répondu et les étudie. Si avant la fin de la date d'expiration de son annonce, il a, à sa disposition, un nœud dont il juge l'offre satisfaisante, il peut attribuer la tâche à celui-ci. Par contre, le fait qu'une tâche ait été attribuée n'est pas mentionné aux contractants ayant reçu l'annonce. Ces derniers considèrent une annonce comme étant terminée lorsque la date limite a été dépassée. Si le gestionnaire juge que les offres reçues ne sont pas acceptables, il attend un laps de temps supplémentaire afin de voir si une offre plus correcte est faite. S'il n'a trouvé personne qui convient, il renvoie une annonce pour cette même tâche. Si un contractant a été choisi, on dit qu'un contrat est établi entre les deux parties (`accept-proposal`). Le contractant doit alors exécuter la tâche. Il peut informer le gestionnaire de l'avancée de son travail (`inform-done`) et lui indiquer la fin de l'exécution en lui envoyant le résultat (`inform-result`). Afin d'obtenir un résultat, le contractant a la possibilité de devenir à son tour gestionnaire en partitionnant cette tâche en sous tâches et en lançant des annonces. Tant qu'un contractant est libre, il peut répondre aux annonces qui lui sont faites. Il peut alors se retrouver avec plusieurs offres en attente et obtenir plusieurs tâches au final. Il a la possibilité de refuser une tâche, prétextant qu'il est déjà occupé (`failure`).

On a pu constater certaines insuffisances dans le CNP proposé par Smith. Par exemple :

1. les nœuds ne peuvent pas faire d'offre tant qu'ils sont occupés (ils peuvent alors rater certaines tâches plus intéressantes pour eux),
2. la méconnaissance de l'attribution d'une tâche lorsque l'on n'est pas retenu,
3. les meilleurs contractants sont déjà occupés sur une autre tâche (ce qui peut pénaliser le demandeur du problème),
4. les tâches sont traitées une par une…

[5] Call For Proposals

Sandholm [65] a proposé une extension du CNP de Smith, nommée Traconet (TRAnsportation COoperation NET) afin de résoudre certains de ces problèmes. Tout d'abord, Sandholm formalise les annonces et les offres faites. Le CNP ne traite qu'une seule tâche à la fois afin d'éviter l'engorgement du système par un nombre trop important de messages. Traconet permet de gérer plusieurs tâches simultanément en réalisant une annonce collective sur un ensemble de tâches. Cependant, le gestionnaire ne peut renvoyer une nouvelle annonce tant que la première n'est pas terminée. De même, les contractants font des offres regroupées correspondant aux tâches contenues dans l'annonce. Pour chaque nouvelle annonce, un contractant est autorisé à faire une offre, même s'il n'est pas libre. La dernière amélioration réalisée est l'envoi de messages par le gestionnaire afin d'avertir les perdants que la tâche ne leur a pas été attribuée (`reject-proposal`). Cela permet à ces derniers d'effacer l'annonce en attente dans leur classement et de réaffecter les ressources qu'ils proposaient pour une autre tâche.

Le CNP se base généralement, dans un système de coopération où tous les participants vont dans le même sens pour résoudre un problème. Cependant, pour le problème qui nous intéresse, nous considérons des mécanismes dans lesquels les pairs sont en compétition, à savoir que chacun doit défendre ses propres intérêts sans se préoccuper des autres. De plus, dans le CNP, il peut arriver qu'une tâche puisse ne pas avoir de réponse et ainsi empêcher l'initiateur d'obtenir sa réponse.

1.2 Approches "économiques"

Dans la section précédente, nous avons vu un type de médiation où les relations se font sur la base uniquement d'allocations de requêtes. Nous nous intéressons ici à un autre type de médiation : les **mécanismes économiques**. Les négociations entre les différents acteurs sont basées sur les échanges monétaires ayant lieu. Pour cette raison, nous présentons brièvement l'économie et la théorie qui l'accompagne.

1.2.1 Économie

Le terme **économie** vient du grec *oikos* (maison) et *nomos* (administrer), correspondant à l'art de bien administrer une maison, et par extension, de gérer les biens d'un particulier ou de l'état. Les sciences économiques sont des sciences sociales qui s'intéressent au comportement humain dans les domaines de la consommation et de la production de biens [83].

Ainsi, l'économie est basée sur ces deux éléments principaux : la **production** et la **consommation**. La production correspond à la création de ressources (intermédiaires ou finales) destinées à la consommation. Ces deux éléments sont directement liés par ce qu'on appelle l'**offre** et la **demande**. En théorie, il ne sert à rien de produire des ressources qui ne seront pas consommées ensuite, bien que dans la réalité, cela puisse arriver.

Un autre élément important constitue la base de l'économie : la monnaie. Lorsque la production d'une ressource est réalisée, cela entraîne un engagement financier de la part du producteur (communément appelé "entreprise"). L'entreprise doit s'assurer que la ressource en question sera bien vendue et qu'elle ne le sera pas à perte. L'objectif de la consommation est que les besoins du consommateur ("ménage") soient satisfaits. Le consommateur ne doit pas dépenser plus que la valeur qu'il estime juste pour la ressource en question. La monnaie est la base des échanges entre les producteurs et les consommateurs, les échanges étant la base de toute activité économique. L'économie concerne tous les individus d'un système (qu'ils soient consommateurs ou producteurs). Les individus sont désignés sous le terme d'agent économique. Un agent économique correspond à toute personne morale ou physique participant à une

activité de consommation ou de production. Un échange est toujours réalisé entre deux agents (celui qui vend et celui qui achète) auquel est ajouté une somme d'argent correspondant au prix convenu entre les deux partenaires.

Les économistes séparent leur travail en deux parties : d'une part, l'analyse des productions et de leur répartition entre tous, et d'autre part, la recherche d'explications et d'améliorations sur les constatations faites.

L'économie est subdivisée en deux branches selon le point de vue d'où l'on observe les échanges. Ainsi, la première branche est la macroéconomie où l'on observe les échanges de manière globale en étudiant les effets produits sur un groupe (tous les individus). La seconde branche est la microéconomie où les échanges sont étudiés au niveau d'un individu et de sa satisfaction à appartenir au système.

1.2.2 Macroéconomie

La **macroéconomie** (dont le terme est introduit en 1933 par l'économiste norvégien Ragnar Frisch) est le domaine des sciences économiques qui traite des phénomènes économiques globaux, qui prend pour objet d'étude, le fonctionnement de l'économie considérée comme un tout. Elle étudie les relations existant entre les grands agrégats économiques. On parle d'agrégat pour désigner les mesures synthétiques permettant d'observer le résultat de l'activité économique : le revenu, l'investissement, la consommation, le taux de chômage, l'inflation... L'agrégat le plus connu est le Produit Intérieur Brut (PIB). La macroéconomie étudie les choix des individus de manière globale et non pas au niveau d'un seul. Par exemple, on peut étudier le PIB d'un pays, ce pays correspondant au regroupement de toutes ses entreprises et de tous ses habitants.

Nous venons d'introduire la macroéconomie de manière générale mais nous ne l'utiliserons pas par la suite. En effet, nous nous intéressons aux individus eux-mêmes, et pour cette raison, nous présentons la microéconomie.

1.2.3 Microéconomie

La **microéconomie** [40, 87, 48] sert à analyser le comportement des individus lorsqu'ils sont dans un contexte économique mais à un niveau individuel cette fois. En ce qui concernent les entités intervenant, on retrouve les consommateurs et les producteurs. Les consommateurs sont considérés comme des offreurs de travail et demandeurs de produits finis. Les entreprises sont, quant à elles, des demandeuses de travail et des offreuses de produits finis et de consommations intermédiaires. La microéconomie a pour objectif plus particulier de déterminer les prix et les revenus permettant d'obtenir un équilibre de marché (équilibre entre l'offre et la demande). Elle a aussi pour but d'analyser et de prévoir le comportement des agents économiques et les interactions qui vont en découler.

Afin de parvenir à remplir tous ces objectifs, la microéconomie s'appuie sur des modèles mathématiques. Ainsi, le consommateur possède une fonction d'utilité tandis que le producteur a une fonction de production. Ces fonctions traduisent la satisfaction que les agents obtiennent en faisant certains choix. Le but d'un agent est de maximiser sa fonction d'utilité ou de production selon son rôle.

1.2.3.1 Théorie du consommateur

Un **consommateur** se retrouve à devoir faire des choix. Un choix est représenté par des paniers de consommation. Un panier correspond à un ensemble de biens dont on choisit les quantités. Par exemple, $A = (x_1, x_2)$ est un panier constitué de deux biens "1" et "2", x_1 et x_2 représentant la quantité de chacun présente dans le panier. Le consommateur doit déterminer ce qui est le mieux pour lui. Pour cela, il doit

être capable de déterminer ses préférences sur les paniers qui lui sont présentés. Ensuite, il se trouve confronté à un second problème : maximiser sa satisfaction tout en respectant la contrainte budgétaire qui lui est fixée. On appelle ceci la **théorie du consommateur**.

Utilité et préférences

L'**utilité** est définie par le degré de satisfaction, de confort ou de commodité apportés à un individu par divers moyens. Le principal problème de la théorie est de pouvoir déterminer cette utilité. Pour cela, deux types d'utilité existent : l'utilité cardinale et l'utilité ordinale.

L'**utilité cardinale** a été introduite par Walras, Jevons et Menger au XIXème siècle. Elle se base sur le fait que le consommateur est capable de traduire la satisfaction qu'il retire de la consommation d'un panier de manière numérique. Ainsi, un consommateur est capable de dire que le panier "A" lui a apporté une utilité de 10 et le panier "B" une utilité de 100. Le panier "B" est préféré 10 fois plus que le panier "A".

Pareto [55] a émis l'hypothèse qu'il est difficile pour le consommateur de pouvoir déterminer une valeur exacte à tous les paniers pouvant être proposés. Il introduit alors l'**utilité ordinale** basée sur les préférences du consommateur. On ne s'intéresse plus maintenant aux valeurs de l'utilité mais plus au classement fait sur les paniers de consommation. On demande au consommateur de déterminer s'il préfère "A" à "B", "B" à "A" ou s'il est indifférent entre les deux. On parle alors de **relation de préférence**. La relation de préférence correspond en termes mathématiques à un préordre complet sur l'ensemble des choix proposés au consommateur. Pour réaliser ce classement, on suppose le consommateur comme **rationnel**, à savoir qu'il classe toujours en premier, le panier qu'il préfère le plus.

Ainsi, devant un ensemble de possibilités, l'agent fera des choix raisonnables en désignant ce qu'il préfère ou ce à quoi il est indifférent. Si cet agent préfère "A" à "B" et "B" à "C", il est logique qu'il préfère "A" à "C". L'inverse le rendrait non rationnel. La relation de préférence est notée : $\succeq$. Ainsi, on note "A" $\succeq$"B" pour indiquer que "A" est préféré ou indifférent à "B". La relation de préférence définie de manière stricte sur les biens, existe aussi : $\succ$. La relation de préférence au sens large $\succeq$dispose de certaines propriétés. Elle est :

- réfléxive : un bien est forcément préféré ou indifférent à lui-même (dans ce cas, l'agent est indifférent),
- complète : l'agent est toujours capable de comparer deux biens,
- transitive : ce qui revient à l'exemple précédemment cité basé sur les trois paniers "A", "B", "C". Cette propriété signifie que l'agent fait preuve de cohérence dans ses préférences.

Une autre hypothèse peut aussi être utilisée, c'est la non-saturation : on considère qu'un agent n'a jamais "trop de" quelque chose, chaque unité consommée en plus lui apporte de la satisfaction. Cela entraîne qu'il préfère toujours avoir plus d'unités d'un bien en particulier, les autres biens restant équivalents : par exemple, si un panier est composé de x abricots et y pommes, l'agent lui préfèrera un autre panier contenant $x + 1$ abricots et y pommes. Cette hypothèse peut s'intégrer à la notion de **rationalité de l'agent**.

Courbes d'indifférence

Les **courbes d'indifférence** représentent graphiquement l'ensemble de toutes les combinaisons des paniers de consommation pour lesquelles un agent économique est indifférent. Sur une même courbe, il n'a pas de préférence entre deux combinaisons car il obtiendra la même utilité qu'il choisisse l'une ou l'autre. Les courbes ont pour but d'analyser les préférences des agents économiques sur les choix possibles, du fait de l'hypothèse de non saturation. Elles ont traditionnellement trois principales propriétés : leur pente est négative, les courbes ne se coupent pas (conséquence de l'hypothèse de transitivité) et elles

sont convexes (arrondis de la courbe orientées vers l'origine).

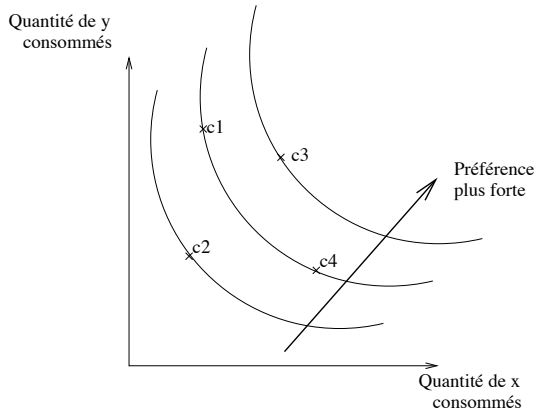


Figure 1.4 – Courbe d'indifférence

La figure 1.4 illustre le fonctionnement des courbes d'indifférence de manière simplifiée en ne s'intéressant qu'à seulement deux biens x et y. L'ensemble de la figure représente toutes les combinaisons possibles entre les nombres d'unités des biens x et y. Les courbes représentent les niveaux d'indifférence de l'agent au sujet des deux biens. Quatre paniers (de c_1 à c_4) ont été représentés sur ces courbes d'indifférence, chacun étant constitué d'une quantité de x et de y donnée. Si l'on observe deux points sur une même courbe, cela signifie que l'agent n'a pas de préférence entre ces deux paniers. Par exemple, étudions plus particulièrement les paniers c_1 et c_4. On remplace le bien x par des abricots, le bien y par des pommes. Ainsi, le panier c_1 est constitué de 3 abricots et de 3 pommes tandis que c_4 est composé de 4 abricots et de 2 pommes. Pour l'agent, ces deux paniers sont équivalents : on dit que l'agent est indifférent entre les deux paniers. C'est pour cette raison que les paniers se situent sur la même courbe. Plus les courbes sont éloignées de l'origine, plus les préférences de l'agent sont grandes (droite de préférence sur la figure 1.4).

Fonction d'utilité

Chaque choix c_i fait par un agent apporte à celui-ci plus ou moins de satisfaction. On note $\mathcal{C}$ l'ensemble de tous les choix (ou paniers) qui se présentent à lui. Parmi ces choix, il doit décider lequel lui sera le plus profitable. La relation de préférence comme elle est définie actuellement, ne permet pas une étude mathématique. Chaque préférence doit être traduite sous un format numérique correspondant à l'utilité. La fonction associée est définie par $u : \mathcal{C} \rightarrow \mathbb{R}$.

Définition 1.1. *:* **Représentation numérique des préférences [40]**
Soit la relation de préférence $\succeq$ définie sur l'ensemble $\mathcal{C}$. Une représentation numérique des préférences est une fonction d'utilité u définie sur $\mathcal{C}$, à valeurs dans $\mathbb{R}$ telle que :

$$c_1 \succeq c_2 \textit{ si et seulement si } u(c_1) \geq u(c_2)$$

La fonction u garantit que l'ordre établi par les préférences est respecté. Ainsi, le choix qui était le plus préféré par l'agent correspond au choix qui a la plus grande utilité après traduction numérique. Il existe une infinité de fonctions d'utilités différentes pour représenter une même relation de préférence. Si u est une fonction d'utilité représentant les préférences d'un agent et g une fonction strictement

croissante quelconque, alors la composée $g(u)$ est également une fonction d'utilité représentant les préférences de ce même agent.

Contrainte budgétaire

On peut voir sur les courbes d'indifférence que plusieurs choix sont possibles. La politique de l'agent est de maximiser son utilité. Il choisit logiquement un panier situé sur la courbe la plus éloignée de l'origine. Cependant, un critère supplémentaire très important intervient, à savoir le budget de cet agent. En effet, celui-ci ne peut pas obtenir tout ce qu'il désire car il a un revenu R limité. Ce revenu va intervenir dans son choix.

Si l'on se situe dans un contexte à deux biens x et y, on peut indiquer les prix de chacun des biens respectivement par p_x et p_y. On peut alors énoncer la contrainte budgétaire sous la forme suivante : $R \geq p_x * x + p_y * y$. Cette droite est représentée sur la figure 1.5 en pointillé. Elle relie les axes des abscisses et des ordonnées. Le problème est alors le suivant :

Pb : déterminer un panier c tel que $c = arg\ max_{c_i \in \mathcal{C}}\ u(c_i)$ avec $R \geq p_x * x + p_y * y$

Ainsi, selon les courbes que la droite de contrainte budgétaire coupe, l'agent peut déterminer quel sera le meilleur choix pour lui. Ce meilleur choix est représenté par une tangente entre une courbe d'indifférence et la contrainte budgétaire.

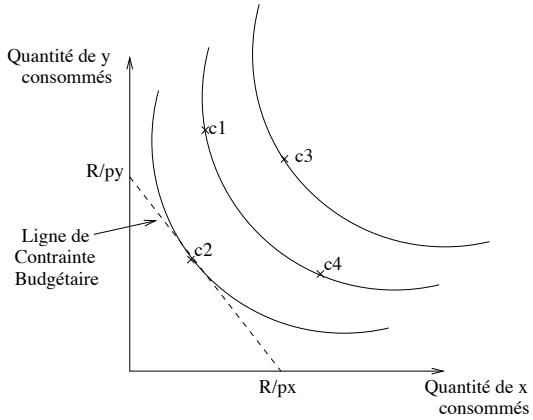


Figure 1.5 – Courbe d'indifférence avec contrainte budgétaire

1.2.3.2 Théorie du producteur

Le producteur est intéressé par le profit qu'il va pouvoir retirer de sa production. Pour cela, on va s'intéresser aux **entrées** (nommées "facteurs") et aux **sorties** (nommées "produits") de la production. La manière dont celle-ci s'exécute n'est pas le but recherché ici. Concernant la production, on parle de plan de production afin de désigner les éléments utilisés en entrée et en sortie. Un **plan de production** est représenté sous la forme d'un vecteur où la quantité des entrées est représentée par un nombre positif et la quantité des sorties par un nombre négatif. Par exemple, pour produire 100 quintaux de blé, il faut un hectare de terre, 150 unités d'azote et 15 heures de travail motorisé : ce plan de production est représenté par (100,-1,-150,-15). On s'intéresse ici aux plans fournissant une seule sortie sur la base de plusieurs entrées. Certains plans sont techniquement réalisables, d'autres non. La technique pour déterminer la faisabilité d'un plan dépend du producteur étudié. Ensuite, parmi l'ensemble des plans techniquement

réalisables, certains ont une plus grande "efficacité" que d'autres. On dit que le plan p_a est plus efficace que le plan p_b (noté $p_a > p_b$) si p_a a un nombre d'entrées plus petit que p_b, ou un nombre de sorties plus grand (l'autre nombre restant constant) ou les deux.

Fonction de production

Pour pouvoir déterminer la faisabilité et l'efficacité d'un plan de production, on utilise des fonctions de production. Le concept de **fonction de production** a été inventé par l'économiste britannique Philip Wicksteed en 1894. La fonction de production est définie par $f : \mathbb{R}^l \rightarrow \mathbb{R}$ avec l le nombre de biens en entrée de la fabrication. On note que la fonction de production est indépendante de l'aspect monétaire, les coûts et profits n'interviennent pas. Par convention, on note y les sorties et x les entrées[6], les nombres représentant les quantités étant cette fois tous positifs. Cette forme de notation permet de définir des fonctions de production associées à un plan de production y = f(x). Il est courant de ne retenir comme facteurs que le travail (nombre d'heures de travail ou nombre d'ouvriers) et le capital (regroupant l'ensemble des autres biens pouvant intervenir : nombre de machines, volume de matières premières, etc). Le travail est noté L, le capital K. Ainsi, la fonction de production devient : y= f(L,K). Les fonctions de production peuvent être représentées de la même manière que les courbes d'indifférence de la théorie du consommateur, remplacées ici par des **courbes d'isoproduit**. Ces courbes décrivent les liaisons entre les facteurs et les produits. On peut ainsi visualiser l'ensemble des combinaisons de facteurs de production (L et K) qui fournissent le même produit total. Le long d'une de ces lignes d'indifférence, le produit total est constant et tout accroissement de la dose d'un facteur est compensé par une diminution d'un ou plusieurs autres facteurs.

Profit

Comme il a déjà été dit, le producteur s'intéresse à son **profit** $\pi = p * y - c * x$, où p et c sont respectivement le prix des sorties et le coût des entrées. C'est à ce niveau que l'aspect monétaire intervient. Le but du producteur est alors de maximiser ce profit $max(p * y - c * x)$ avec la contrainte que y = f(x) (i.e. que la sortie est bien liée aux entrées dans un même plan de production).

Pour réussir à maximiser son profit, il doit minimiser les coûts. Cet aspect est similaire à la contrainte budgétaire présentée dans la théorie du consommateur.

1.2.4 Théorie des jeux

La théorie des jeux a été introduite par Von Neumann et Morgenstern en 1944 dans leur livre "*Theory of Games and Economic Behavior*" [79]. Elle représente une sous branche de la microéconomie. De plus, c'est une discipline mathématique mettant en scène plusieurs acteurs nommés "joueurs". Un joueur peut correspondre à n'importe quelle entité ayant des objectifs à atteindre : une personne, un groupe de personnes, une société, une région, un parti politique, un pays ou la Nature. La théorie des jeux est de plus en plus utilisée dans des domaines tels que l'économie, les sciences politiques, la biologie, l'informatique, la sociologie... Elle permet l'étude de situations où le sort d'un joueur est directement lié à ses propres décisions mais aussi à celles des autres. Ainsi, chacun n'est pas totalement maître de son destin. Le choix qu'il doit faire devra être étudié et choisi en fonction de ce que les autres ont fait ou vont faire. Il existe une interdépendance entre tous. Tous les participants à ce type de jeux sont considérés comme étant rationnels.

[6] Si plusieurs entrées existent, x est représenté sous la forme d'un vecteur.

Définition 1.2. *:* **Agent rationnel [62]**
Un agent est rationnel s'il prend la décision qui maximise son utilité en fonction de sa perception du monde et de ses connaissances.

De plus, un joueur se base sur l'hypothèse que les autres joueurs sont eux aussi rationnels et vont donc eux aussi choisir les actions qui leur seront le plus profitable. Ils ont tous le raisonnement suivant : je suis rationnel, je sais que les autres sont rationnels, je sais qu'ils savent que je suis rationnel...

Qu'est ce qu'un jeu ?

Un **jeu** est défini par plusieurs éléments :

- Le nombre de joueurs intervenant : on note N l'ensemble des joueurs, chacun étant numéroté de 1 à n.
- Les stratégies : une stratégie s_i correspond à un choix qu'un joueur i peut faire. S_i correspond à l'ensemble des stratégies que le joueur i a à sa disposition.
- L'issue du jeu : notée s, elle a pour valeur $(s_1, \ldots, s_n) \in (S_1, \ldots, S_n)$. On note s_{-i} l'issue ne contenant pas la stratégie choisie par le joueur i dans l'issue s. Ainsi, $s_{-i} = (s_1, \ldots, s_{i-1}, s_{i+1}, \ldots, s_n)$ et s peut être notée (s_i, s_{-i}).
- Les gains du jeu : pour chaque issue s du jeu, un gain est attribué à chaque joueur.
- L'information à la disposition des joueurs : cela correspond aux informations disponibles pour que n'importe quel joueur puisse prendre sa décision. Ainsi, chaque joueur peut connaitre l'ensemble des stratégies des autres joueurs, les gains que les autres sont susceptibles d'obtenir...

Le gain obtenu par un joueur pour une issue s lui permet de déterminer son utilité pour cette même issue. En effet, la **fonction d'utilité** d'un joueur i notée $u_i(s)$ est calculée à partir du gain obtenu avec la logique suivante : plus le gain est élevé, plus l'utilité l'est aussi. Le gain correspond donc au résultat brut du jeu, l'utilité à la satisfaction résultante.

Un jeu peut être représenté sous deux formes : stratégique (matrice) ou expensive (arbre). La matrice est utilisée dans le cadre de jeux statiques où un seul tour de jeu est effectué et où les décisions sont prises simultanément. Dans la table 1.2, deux joueurs participent, chacun ayant deux stratégies possibles : A et G pour le joueur 1, H et B pour le joueur 2. Les chiffres contenus dans les cases correspondent aux gains escomptés selon les choix de stratégies faits. Ainsi, si le joueur 1 choisit A et le joueur 2, B, les deux joueurs gagneront respectivement 3 et 8 comme gain [7].

		Joueur 2	
		H	B
Joueur 1	A	(-3, 0)	(3,8)
	G	(0,-1)	(4,2)

Table 1.2 – Exemple de matrice

Dans le cas d'une représentation en arbre, on s'intéresse plutôt à des jeux où chacun joue à son tour, connaissant les données de l'autre [8]. On parle de prises de décision séquentielles. Cette représentation est également utilisée pour modéliser des jeux où les joueurs ont plusieurs fois de suite des décisions à prendre, comme typiquement le jeu d'échecs. Sur la figure 1.6, on constate que le joueur 1 joue en premier puis le joueur 2. Au moment où celui-ci doit jouer, il connaît le choix fait par le joueur 1, ce qui

[7] L'unité des gains dépend du contexte du jeu.
[8] Mais ce type de représentation peut aussi être utilisé pour des jeux statiques.

lui permet de choisir le choix le plus avantageux pour lui. Par exemple, si 1 a joué G (G étant toujours plus avantageux pour 1 par rapport au choix A, quelle que soit la décision de 2), le joueur 2 choisira nécessairement le choix B.

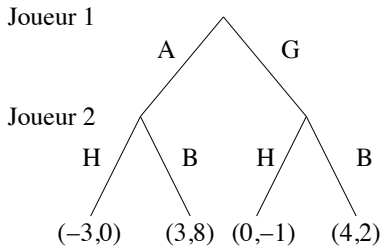


Figure 1.6 – Exemple d'arbre

Les différents types de jeux

Deux grandes familles de jeux existent : les jeux coopératifs et les jeux non coopératifs.

Les **jeux coopératifs** permettent aux joueurs de passer des accords afin de s'entendre sur le résultat final qu'ils veulent obtenir. Ces accords se font au préalable avant même que le jeu commence. Une fois l'entente passée, on dit de ces joueurs qu'ils forment une coalition : chacun doit alors respecter sa part de contrat et choisir effectivement le choix auquel il s'est engagé.

Les **jeux non coopératifs** décrivent un cadre institutionnel dans lequel chaque joueur arrête seul ses choix sans consulter les autres joueurs. De plus, personne ne passe d'accord avec la partie adverse sur ce qu'il va choisir. La manière dont le joueur va prendre sa décision dépend des hypothèses qu'il fait au sujet des choix des autres. En effet, il constate que certains choix peuvent être directement exclus par certains joueurs (car n'étant pas les plus favorables par rapport à une autre stratégie) : ainsi, à force de recoupement, le joueur adapte son choix de stratégie en conséquence.

Ensuite, les jeux peuvent avoir d'autres caractéristiques, cumulatives ou non.

- **Les jeux simultanés ou séquentiels** :
  Dans le premier cas, tous les joueurs prennent leurs décisions en même temps soit en se basant sur l'accord établi au préalable dans le cas d'un jeu coopératif soit en se basant sur les suppositions des choix faits par les autres (jeu non coopératif) (ex : table 1.2). Dans le second cas, le joueur qui doit jouer connaît déjà les décisions prises par les autres auparavant et il s'en sert afin de déterminer son propre choix.
- **Les jeux statiques ou dynamiques** :
  Dans le cas d'un jeu statique, il n'y a qu'un tour de jeu et une fois ce tour terminé, les joueurs reçoivent les gains qu'ils ont obtenus. Pour un jeu dynamique, le jeu se déroule en plusieurs étapes (nombre fini ou non). Les joueurs savent ce qui a été choisi précédemment. Une stratégie spécifie l'action que choisit chaque joueur à chaque étape où il intervient en fonction de l'état courant du jeu. Autrement dit, le joueur choisit en tenant compte de l'historique du jeu. Chaque étape peut être différente ou non de la précédente. Dans le cas où toutes les étapes sont identiques (même jeu joué à chaque tour), on parle de jeux répétés : les jeux passés doivent servir au joueur pour déterminer son choix pour le tour actif (avait-il fait le bon choix précédemment ?).
- **Les jeux à information parfaite ou imparfaite** :
  On considère un jeu à information parfaite lorsque le joueur est capable de se situer sur l'arbre des choix et ainsi de pouvoir déterminer quelles ont été les actions précédentes. Typiquement, dans le

cadre d'un jeu simultané, celui-ci est en information imparfaite car le joueur ne connaît pas son emplacement sur l'arbre des choix, les autres n'ayant pas encore joué.

- **Les jeux à information complète ou incomplète** :
  En information complète, chaque joueur connaît l'ensemble des données du jeu, à savoir l'ensemble de ses stratégies, celles des autres et les gains résultants. Si une de ces conditions n'est pas remplie, le jeu est à information incomplète.
- **Les jeux à somme nulle ou non nulle** :
  Un jeu est dit à somme nulle lorsque la somme des gains de tous les joueurs est constante (ce que l'un gagne est nécessairement perdu par un autre).

Stratégie dominante ou dominée

Un joueur se retrouve confronté à un ensemble de **stratégies** parmi lesquelles il doit choisir la meilleure. Comment peut-il réaliser son choix ?

Parmi l'ensemble des stratégies, certaines sont moins bonnes que d'autres. On parle de **stratégie dominée** : une stratégie dominée pour un joueur est une stratégie qui lui donne toujours un gain inférieur à celui d'au moins une de ses autres stratégies, indépendamment des choix des autres joueurs.

Définition 1.3. : Stratégie dominée
Une stratégie s_i est (strictement) dominée s'il existe $s'_i \in S_i$ telle que :

$$\forall s_{-i} \in S_{-i},\ u_i(s'_i, s_{-i}) > u_i(s_i, s_{-i}).$$

Un joueur "rationnel" ne devrait jamais jouer une stratégie dominée.

Une fois les stratégies dominées éliminées, il faut encore choisir celle qui sera la plus favorable parmi celles restantes. Cette stratégie peut être **dominante** ou non. Si elle est dominante, elle donne un meilleur gain que n'importe quelle autre stratégie (quelles que soient les stratégies des autres joueurs).

Définition 1.4. : Stratégie dominante
Une stratégie s_i est (strictement) dominante si :

$$\forall s'_i \in S_i,\ s_{-i} \in S_{-i},\ u_i(s_i, s_{-i}) > u_i(s'_i, s_{-i}).$$

Dans la table 1.3, le jeu fait intervenir deux joueurs, chacun ayant deux stratégies possibles. On observe dans un premier temps le comportement du joueur 2. On constate que les gains du joueur 2, s'il joue B seront plus faibles que ses gains lorsqu'il joue H, ceci quel que soit le choix du joueur 1 ($2 > 1$ et $5 > 0$). Il choisira obligatoirement H comme choix car cette stratégie est dominante pour lui. Le joueur 1, sachant que 2 est rationnel, sait que 2 va éliminer la stratégie B. En partant de cette déduction, il étudie ses gains lorsque le choix fait par 2 est H. Il constate qu'il est préférable pour lui de choisir A afin de maximiser ses gains. Choisir G est une stratégie dominée pour le joueur 1. Le couple $(4, 2)$ est donc le résultat final de ce jeu : le joueur 1 gagne 4 comme gain et le joueur $2, 2$.

Dilemme du prisonnier

L'exemple le plus célèbre de la théorie des jeux est le **dilemme du prisonnier**. Deux personnes arrêtées ensemble en possession d'armes à feu sont soupçonnées d'un délit commun. La police ne dispose pas d'élément de preuve suffisant pour obtenir la condamnation des prévenus pour l'acte dont ils sont accusés. L'aveu d'au moins l'un des deux est donc indispensable. Les policiers les séparent et expliquent la situation à chacun :

- si un des deux avoue et que l'autre n'avoue rien, le premier est libéré, et le second emprisonné (peine de 5 ans de prison) ;

		Joueur 2	
		H	B
Joueur 1	A	**(4, 2)**	(3,1)
	G	(2,5)	(9,0)

Table 1.3 – Élimination des stratégies dominées

- si les deux avouent, les deux iront en prison (3 ans) ;
- Si aucun des deux n'avoue, les deux seront libérés au bout d'un an car il y a eu possession d'armes.

Quels choix vont faire les prisonniers ?

		Prisonnier 2	
		Avoue	Nie
Prisonnier 1	Avoue	(-3,-3)	(0,-5)
	Nie	(-5,0)	(-1,-1)

Table 1.4 – Dilemme du prisonnier

Les gains du jeu sont présentés dans la table 1.4. On parle de dilemme car ce jeu fait ressortir un différend entre l'intérêt individuel (Avoue, Avoue) et l'intérêt collectif (Nie, Nie).

Si l'on étudie le jeu de plus près, on constate qu'avouer est une stratégie dominante. En effet, si on se met à la place du prisonnier 2, s'il avoue, quelle que soit la stratégie de l'autre, il obtiendra une peine de prison plus faible ($-3 > -5$ et $0 > -1$). Le choix de stratégie du joueur 1 est identique, le jeu étant symétrique au niveau des gains. Cependant, on observe dans la matrice qu'il existe une issue plus favorable aux deux : $(1, 1)$ lié aux stratégies (Nie, Nie). Comment alors, les deux prisonniers pourraient arriver à faire ce choix alors que leur stratégie dominante est autre ?

Le jeu montre ici l'intérêt de la coopération entre les prisonniers. Dans le paragraphe précédent sur les stratégies dominantes et dominées, on a indiqué que seules les stratégies dominantes étaient rationnellement choisies. Mais les prisonniers ont pu passer un accord entre eux avant de se faire arrêter en décidant de ne pas avouer mutuellement. On parle alors d'engagement (*commitment*) sur les choix futurs qui vont être faits. Deux types d'engagement existent : les menaces qui reviennent à punir celui qui trahirait le contrat et les promesses qui récompensent ceux qui ont choisi les actions attendues. Dans le cadre du dilemme du prisonnier, on peut parler de menace sur celui qui parlera, la loi du silence pouvant par exemple être appliquée. C'est cet aspect psychologique qui va influencer le résultat final, les prisonniers choisissant de ne pas avouer tous les deux. Le dilemme du prisonnier a pour but de montrer justement que les stratégies dominantes ne sont pas toujours les plus favorables, sachant que le comportement humain intervient aussi dans le jeu.

Équilibre de Nash [51]

Il a été constaté que chacun pouvait arriver à obtenir une stratégie dominante dans ce type de jeux (il existe tout de même des cas où cette stratégie n'existe pas). Mais, arrive-t-on à satisfaire tout le monde dans ce contexte ? Pour répondre à cette question, nous présentons l'**équilibre de Nash** qui est un état dans lequel aucun joueur ne souhaite modifier sa stratégie étant données les stratégies adoptées par les autres joueurs. Chaque stratégie choisie est une (ou la) meilleure réponse aux stratégies des autres joueurs.

Définition 1.5. Équilibre de Nash
Une issue s^* de stratégies est un équilibre de Nash si l'inégalité suivante est satisfaite pour chaque joueur :

$$\forall i \in [1, .., n] : u_i(s_i^*, s_{-i}^*) \geq u_i(s_i, s_{-i}^*) \; \forall s_i \in S_i.$$

Cette définition indique que le joueur i a fait le bon choix au niveau de sa stratégie par rapport aux stratégies des autres (s_{-i}^*). Ce choix lui a permis de maximiser son gain.

Différents problèmes peuvent apparaître concernant le concept d'équilibre de Nash. En effet, il peut ne pas exister d'équilibre dans certains jeux ou au contraire en exister plusieurs. Dans ce dernier cas, il faut réussir à déterminer quelle stratégie l'autre participant sera susceptible de choisir. Un autre problème que l'on a vu dans le dilemme du prisonnier présenté précédemment peut apparaître : le fait que la stratégie dominante ne soit pas optimale. L'équilibre de Nash ne correspond pas au meilleur choix pour les joueurs. En effet, il correspond au cas où les deux prisonniers choisissent d'avouer, c'est-à-dire les stratégies dominantes de chacun. Un équilibre de Nash ne traduit pas nécessairement le bien être social des participants.

La théorie des jeux est un domaine très important en microéconomie. Elle permet d'identifier les raisonnements que peuvent opérer les pairs afin de parvenir à leur but. Ainsi, nous voyons que les pairs, lorsqu'ils sont rationnels, vont privilégier les stratégies dominantes pour effectuer leurs choix. Nous présentons maintenant la conception de mécanismes, branche de la théorie des jeux dont le but est de définir des mécanismes respectant un certain nombre de contraintes.

1.2.5 Conception de mécanismes

La **conception de mécanismes** *(Mechanism Design)* a pour but de définir les règles de mécanismes créés de telle sorte que ces derniers puissent obtenir une issue spécifique (comportement souhaité du mécanisme). De nombreux mécanismes demandent aux personnes d'exprimer leurs choix sur un critère donné afin d'aboutir à un choix social final utilisant les opinions de tous. Lorsque ces personnes s'expriment, elles ne désirent pas que les informations sur leurs choix ou idées soient diffusées et connues de tous. Elles souhaitent préserver leur vie privée. Cependant, il faut réussir à trouver les motivations nécessaires pour que les personnes annoncent leurs véritables choix sans mentir. L'exemple le plus convaincant est une élection. Chaque votant a ses préférences vis-à-vis des différents candidats et ne souhaite pas les divulguer aux autres. Ainsi, le vote se fait de manière anonyme, seul le votant sait pour qui il a voté. Mais au final, le protocole de vote prend les bulletins de tous et les regroupe afin de déterminer le choix social résultant, l'élu.

Il existe deux types de groupes utilisant la conception de mécanismes. D'un côté, il y a les économistes qui utilisent l'informatique afin d'obtenir les solutions à leurs problèmes économiques et de l'autre côté, il y a les informaticiens qui employent l'économie afin de prouver que leurs systèmes fonctionnent de manière correcte. La conception de mécanismes a pour but d'implémenter la théorie mise en place, théorie servant à obtenir une issue finale. La conception oblige tout d'abord à définir le protocole puis les stratégies des agents. Elle permet d'étudier les choix sociaux faits par les acteurs selon leurs préférences et leurs stratégies ainsi que les interactions existant entre chacun. On suppose ici que les acteurs sont rationnels (au sens de la définition 1.2).

Dans cette section, nous présentons les principes centraux de la conception de mécanismes. Une présentation plus détaillée peut être lue dans [48] chapitre 23 et dans [52].

1.2.5.1 Préférences et évaluation des agents

On a indiqué précédemment que les agents disposaient d'informations privées leur permettant de définir leurs préférences. Les informations privées d'un agent i constituent son **type**, noté θ_i. L'ensemble de tous les types d'un agent i est noté Θ_i. Pour chaque type θ_i, l'agent i peut évaluer l'ensemble des issues que lui propose le mécanisme. On note $\mathcal{O}$ l'ensemble des issues proposées.

Ensuite, afin d'obtenir la valeur monétaire qu'un agent attribue à une issue, une fonction d'**évaluation** est définie. Cette fonction dépend de la sortie en elle-même ainsi que du type de l'agent.

Définition 1.6. : Fonction d'évaluation
Soit $\mathcal{O}$ l'ensemble des issues du mécanisme. La fonction d'évaluation de l'agent i est définie par :

$$v_i \ : \ \Theta_i \ \times \ \mathcal{O} \ \rightarrow \ \mathbb{R}.$$

Ainsi, $v_i(\theta_i, o)$ permet de quantifier la valeur monétaire de l'issue o dans le cas où le type de i est θ_i. Cette valeur sera obtenue selon la stratégie appliquée par l'agent. L'évaluation intervient dans le calcul de l'utilité comme nous le verrons dans la définition d'un mécanisme (définition 1.8).

On peut maintenant définir le problème de conception de mécanismes :

Définition 1.7. : Problème de conception de mécanismes [53]
Un problème de conception de mécanismes est caractérisé par une définition des issues et par l'utilité d'un ensemble d'agents. En particulier :

- *Il y a n agents, chaque agent i a à sa disposition un ensemble d'entrées privées $\theta_i \in \Theta_i$. Toute autre information est considérée comme étant publique.*
- *La définition des issues fait correspondre, à chaque vecteur $\theta = \theta_1 \ldots \theta_n$, un ensemble de sorties possibles $o \in \mathcal{O}$.*
- *Les préférences de chaque agent i sont données par une fonction $v_i(\theta_i, o)$ appelée "évaluation" (définition 1.6). Elle quantifie la valeur attribuée à une issue o.*

1.2.5.2 Mécanisme et fonction de choix social

Après avoir étudié comment les agents jugent les issues qui leur sont proposées, nous allons voir plus en détail ce qu'est un mécanisme. Comme nous nous situons dans un contexte économique, cela signifie qu'une monnaie (virtuelle ou non) est utilisée. Par rapport à tout ce que nous avons vu précédemment, un nouvel élément vient s'ajouter en plus de l'issue d'un mécanisme : le paiement fait par les agents. En effet, une **facturation** est établie auprès des agents. Si l'on prend l'exemple d'une vente aux enchères, le résultat est constitué de deux éléments : la **détermination du gagnant** et le **paiement** (prix que doit payer le vainqueur de l'objet).

Définition 1.8. : Mécanisme [53]
Soit n agents. Un mécanisme $m = (g, p)$ est composé de deux éléments : une fonction de sortie g et un vecteur de paiement $\vec{p}$ de taille n. En particulier :

- *Le mécanisme définit pour chaque agent i, un ensemble de stratégies S_i. L'agent est libre de choisir n'importe quelle stratégie $s_i \in S_i$.*
- *Le mécanisme fournit une fonction d'issues g telle que $o = g(s_1, \ldots, s_n)$*
- *Il calcule aussi un paiement $p_i = p_i(s_1, \ldots, s_n)$ pour chaque agent i.*
- *On dit qu'un mécanisme est une implémentation à stratégies dominantes si :*

– *Pour chaque agent i et chaque type θ_i, il existe une stratégie $s_i \in S_i$ désignée comme étant dominante telle que pour toutes les stratégies possibles des autres agents s_{-i}, s_i maximise l'utilité de l'agent i. Cela se traduit par : pour tout $s'_i \in S_i$, si nous définissons $o = g(s_i, s_{-i}), o' = g(s'_i, s_{-i}), p_i = p_i(s_i, s_{-i}), p'_i = p_i(s'_i, s_{-i})$ alors $v_i(\theta_i, o) + p_i \geq v_i(\theta_i, o') + p'_i$*

L'utilité est quasi-linéaire et sa formule est la suivante : $u(\theta_i, o) = v_i(\theta_i, o) + p_i$. On constate bien que l'évaluation faite par l'agent intervient dans son calcul.

La fonction de sortie $g(.)$ précédemment citée porte le nom de **fonction de choix social**. Elle permet de générer les sorties liées aux propriétés que le mécanisme veut remplir. Ainsi, si le mécanisme souhaite remplir l'objectif de maximiser le bien-être social, il faut que la fonction de choix social fournisse une sortie permettant de respecter cette propriété. Le concepteur du mécanisme doit alors faire en sorte que les motivations des agents les amènent dans le sens qu'il désire. La fonction de choix social peut aussi être amenée à respecter les propriétés suivantes par exemple : Pareto Optimalité, maximisation de l'utilité d'un agent en particulier (centre par exemple), balance budgétaire, rationalité individuelle... Il peut aussi arriver que la fonction de choix social permette à une issue de remplir plusieurs de ces propriétés simultanément.

1.2.5.3 Principe de révélation *(Revelation Principle)*

La définition précédente d'un mécanisme décrit de manière générale ce qu'est un mécanisme, sans que des conditions particulières lui soient imposées. Cependant, la conception de mécanismes cherche à favoriser les mécanismes dont la stratégie dominante est d'inciter les agents à révéler leurs informations privées. Cette stratégie correspond à la propriété d'***incentive compatibility***.

Pour qu'un agent atteigne son objectif de maximiser son utilité, tous les moyens sont bons. Un agent pourrait être amené à ne pas révéler ses informations privées et à fournir des informations erronées au mécanisme, ceci pour son propre intérêt. Comme on a pu le voir en théorie des jeux, ce type de comportement peut poser problème car les autres participants ne s'y attendent pas : l'équilibre est alors rompu. La propriété d'*incentive compatibility* a pour but d'empêcher les agents malicieux de s'organiser : le mécanisme doit faire en sorte que la stratégie "révéler ses informations privées" soit la seule stratégie rentable pour eux aussi. Ainsi, on peut définir l'*incentive compatibility* par :

Définition 1.9. : *Incentive Compatible*
Soit s_i la stratégie "révéler ses informations privées" du joueur i. Un mécanisme est incentive compatible si et seulement si :

$$\forall i \in N, \forall s'_i \in S_i, u_i(s_i, s_{-i}) \geq u_i(s'_i, s_{-i})$$

Ainsi, on peut maintenant définir le principe de révélation comme :

Définition 1.10. : Principe de révélation [52]
S'il existe un mécanisme arbitraire implémentant $g(.)$ dans un contexte de stratégies dominantes, alors il existe un mécanisme incentive compatible qui implémente $g(.)$. Le paiement des joueurs dans un mécanisme incentive compatible est identique à celui obtenu à l'équilibre pour le mécanisme initial.

Ainsi, tout mécanisme arrivant à un équilibre peut s'assimiler à un mécanisme où la stratégie dominante des agents est de révéler leurs informations privées. Le mécanisme incentive compatible servant de référence au principe de révélation est le mécanisme de Vickrey-Groves-Clarke [78, 33, 18]. Ce mécanisme définit une fonction de choix social maximisant l'utilité globale, et une fonction de paiement.

La propriété correspondant à la maximisation de l'utilité globale est l'**efficacité**. Elle s'intéresse spécifiquement aux profits des agents traduits sous la forme d'utilité.

Définition 1.11. : Efficacité
Le mécanisme est efficace si l'issue s obtenue respecte la condition suivante :

$$s = arg\ max_{s_i \in S_i, s_{-i} \in S_{-i}} \sum_{i \in N} u(s_i, s_{-i})\ \forall i \in N$$

Ainsi, la fonction de choix social du mécanisme de Vickrey-Groves-Clarke se base sur la propriété d'efficacité afin de déterminer l'issue permettant de maximiser l'utilité globale du mécanisme.

Définition 1.12. *Un mécanisme de Vickrey-Groves-Clarke est défini par :*

- *Une fonction de choix social :*
$$g(\theta) = arg\ max_{o \in \mathcal{O}} \sum_{i \in N} u_i(o, \theta_i).$$
- *Une fonction de paiement pour chaque agent :*
$$\forall i \in N, p_i(\theta) = v_i(g(\theta), \theta_i) - (V_N - V_{N-i})$$
avec $V_N = max_{o \in \mathcal{O}} \sum_i u_i(o, \theta_i)$ *et* $V_{N-i} = max_{o \in \mathcal{O}} \sum_{j \neq i} u_j(o, \theta_j)$

Il existe deux autres propriétés principales en microéconomie : la rationalité individuelle (*individual rationality*) et la Pareto optimalité (*Pareto optimality*). Elles peuvent être utilisées afin de fournir des propriétés supplémentaires à la fonction de choix social.

La **rationalité individuelle** correspond à l'intérêt qu'ont les agents à participer à un mécanisme. En effet, quel serait l'intérêt des agents à rester dans un mécanisme si ce dernier ne leur apportait rien de plus que s'ils ne participaient pas. Leur intérêt se traduit au niveau de l'utilité obtenue à partir des issues du mécanisme. Cette propriété n'a de sens que dans le cas où les agents sont libres de quitter le mécanisme comme ils le souhaitent. Sandholm [66] explique cette propriété de la manière suivante : "*pour un agent, sa participation à un mécanisme est individuellement rationnelle si l'utilité qu'il en retire n'est pas plus faible que celle qu'il aurait eue s'il n'y avait pas participé*". On note $\bar{u}_i(s)$ l'utilité d'un agent i dans le cas où il ne participe pas au tour dont l'issue correspond à s.

Définition 1.13. : Rationalité individuelle
Un agent est individuellement rationnel si et seulement si :

$$\forall s_i \in S_i, \forall s_{-i} \in S_{-i}, u_i(s_i, s_{-i}) \geq \bar{u}_i(s_i, s_{-i}).$$

Ainsi, on dit d'un mécanisme qu'il est individuellement rationnel à la condition que tous les agents aient intérêt à rester dans le mécanisme.

La **Pareto optimalité** est un concept mis en place par Vilfredo Pareto dans son manuel d'économie politique [55]. Elle permet d'observer les relations existant entre tous les participants d'un mécanisme, ces derniers étant impliqués économiquement ou pas. En effet, certains acteurs peuvent ne pas avoir de relation avec l'argent, même s'ils appartiennent à un mécanisme économique. Cette propriété correspond à l'étude du bien-être social des participants. En effet, elle étudie plus le mécanisme dans sa globalité, contrairement aux trois propriétés présentées précédemment (rationalité individuelle, efficacité et *incentive compatibility*). Ici, on ne s'intéresse pas à l'individu en lui-même.

Définition 1.14. : Pareto optimalité
Une issue s *est Pareto optimale s'il n'existe pas d'autre issue* s' *telle qu'au moins un agent ait une utilité plus grande en* s' *qu'en* s *et qu'il n'y ait aucun agent ayant une utilité plus faible en* s' *qu'en* s.

Cela signifie que l'issue obtenue par le mécanisme est la meilleure afin de pouvoir satisfaire tout le monde.

La conception de mécanismes indique un certain nombre de caractéristiques qu'un mécanisme doit posséder comme par exemple l'allocation et la facturation obtenues, la possibilité pour les pairs de disposer d'informations privées leur permettant de calculer leur évaluation, etc. De plus, nous retenons principalement les propriétés énoncées dans cette section et que nous utilisons par la suite pour l'étude des processus de médiation que nous observons.

1.2.6 Présentation de mécanismes économiques

Nous venons de présenter l'aspect théorique de l'économie et plus particulièrement de la microéconomie. Les mécanismes dépendant de ces domaines fonctionnent sur la base d'échanges monétaires. Nous allons maintenant présenter différents mécanismes économiques, à savoir les ventes aux enchères et un mécanisme d'imposition.

1.2.6.1 Ventes aux enchères

Il existe un grand nombre de **ventes aux enchères** dont nous pouvons trouver un état de l'art abordé d'un point de vue économie pure dans [84, 57]. Deux catégories de ventes aux enchères existent : les ventes inversées et les ventes classiques. Dans chacune, un commissaire priseur est chargé de gérer une vente qui se déroule entre des acheteurs et des vendeurs. Dans une vente classique, il y a un seul vendeur et plusieurs acheteurs tandis qu'une vente inversée implique plusieurs vendeurs et un seul acheteur (les rôles étant inversés par rapport à une vente classique). Dans une **vente classique**, le vendeur propose un article[9] (le terme *item* est utilisé en anglais) à la vente et les acheteurs font des offres sur cet article. Le commissaire priseur établit ensuite la facture selon le mode de facturation défini par la vente. Dans une **vente inversée**, l'acheteur indique quel article il recherche (ses caractéristiques) et quel prix il est prêt à débourser pour l'obtenir. Les vendeurs lui proposent alors des articles répondant aux critères recherchés (tous ou en partie). Le choix du vainqueur est décidé par le commissaire priseur selon les critères fixés par l'acheteur.

Ces deux catégories de ventes aux enchères sont subdivisées en sous-catégories où des nuances de fonctionnement au niveau des ventes apparaissent. Ainsi, une vente peut se baser sur plusieurs critères afin de déterminer l'acquéreur d'un article. Dans le cadre d'une vente classique, un vendeur est libre de mettre une ou plusieurs unités d'un même article en vente. Dans le cas où il y en a plusieurs, il peut décider si un acheteur pourra acquérir plusieurs unités lors d'une même vente. Il existe aussi des ventes combinatoires où le vendeur propose des articles à la vente, ceux-ci pouvant être vendus à l'unité ou en lots. Le prix du lot est différent de la somme des prix unitaires. Un état de l'art de ce type de vente peut être trouvé dans [11, 23]. On s'intéresse par la suite uniquement aux ventes aux enchères où un seul article est vendu en exemplaire unique ou non car notre problème est concentré sur l'allocation d'une requête à un ou plusieurs pairs.

[9] Cet article peut être réel ou abstrait.

Ventes aux enchères traditionnelles

Lorsque l'on parle des ventes aux enchères traditionnelles, on désigne des ventes aux enchères qui utilisent seulement l'offre faite par les acheteurs pour réaliser la sélection des vainqueurs. Quatre types principaux de ventes aux enchères existent. Dans une ***vente aux enchères anglaise*** ou *enchère ascendante*, chaque acheteur propose une offre jusqu'à ce qu'il estime que le prix atteint soit trop élevé. Il arrête alors de surenchérir. Une vente se déroule sur plusieurs tours successifs jusqu'à ce qu'il n'y ait plus qu'un seul acheteur actif. Le commissaire priseur attribue l'objet à ce dernier, c'est-à-dire au plus offrant, lui faisant payer son offre courante. Dans une ***vente aux enchères hollandaise*** ou *enchère descendante*, le commisseur priseur annonce un prix de départ élevé puis descend progressivement ce prix jusqu'à ce qu'un des acheteurs se porte acquéreur. Il paye alors l'offre qu'il a faite. Dans une ***vente aux enchères sous pli cacheté au premier prix***, chaque acheteur fait une offre sous pli cacheté au commissaire priseur sans connaître les offres des autres participants. Cette vente se déroule sur un unique tour. Le commissaire examine toutes les offres et attribue l'objet au plus offrant. Il lui demande de payer le prix qu'il a effectivement soumis.

Enfin, le dernier type de vente aux enchères nous intéresse particulièrement, ce sont les *ventes aux enchères sous pli cacheté au second prix* ou ***vente aux enchères Vickrey*** *[78])*. Une telle vente se base sur la vente d'un seul article. Le principe est similaire à celui de la vente aux enchères sous pli cacheté au premier prix, seule la méthode de facturation change. Les acheteurs font chacun une seule offre pour l'article, indépendemment des offres des autres. Le commissaire priseur désigne le vainqueur comme étant celui ayant fait l'offre la plus élevée et établit sa facture. Le gagnant paye l'offre qui a été réalisée par le premier non-sélectionné, à savoir la deuxième plus forte offre. Cette vente aux enchères maximise l'utilité globale attendue pour tous. Elle permet d'éviter que les acheteurs mentent sur la véritable valeur qu'ils estiment l'objet présenté (propriété d'*Incentive Compatibility* : définition 1.9) grâce à la facturation basée sur la deuxième meilleure offre. Une version généralisée de Vickrey où plusieurs unités sont en vente simultanément a été proposée par Varian [77]. Le commissaire priseur sélectionne n acheteurs parmi les m participants (avec $n < m$) pour n unités. La facture de l'ensemble des vainqueurs est la même : ils paient l'offre faite par le $n+1^{ème}$ participant (i.e. l'offre du premier acheteur non sélectionné).

acheteurs		a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}
offres		100	150	50	200	30	80	70	300	110	120
classement		6	3	9	2	10	7	8	1	5	4
Vickrey simple	allocation								***		
	facturation	0	0	0	0	0	0	0	200	0	0
Vickrey généralisée avec 3 sélectionnés	allocation		***		***				***		
	facturation	0	120	0	120	0	0	0	120	0	0

Table 1.5 – Exemple d'utilisation de la vente aux enchères Vickrey simple et généralisée

La table 1.5 illustre un exemple d'utilisation de la vente aux enchères Vickrey. Nous développons cet exemple pour la Vickrey simple, i.e. un seul sélectionné et pour la Vickrey généralisée où le commissaire priseur sélectionne trois acheteurs. Chaque acheteur fait son offre sous pli cacheté auprès du commissaire priseur, qui les classe. Dans l'exemple, on note "***" pour indiquer que l'acheteur est sélectionné. L'acheteur a_8 est celui qui a fait l'offre la plus élevée. Dans le cas de la Vickrey simple, il obtient l'article et paie l'offre faite par le deuxième, a_4, à savoir 200. Pour la version généralisée de Vickrey, les vainqueurs sont a_8, a_4 et a_2. Ils ont tous les trois la même facture correspondant à l'offre du premier non

sélectionné (a_{10}) : la valeur de la facture est 120.

En plus de la vente aux enchères Vickrey qui nous intéresse particulièrement, nous explicitons le fonctionnement de la vente aux enchères mise en place par Myerson [50] car elle permet de favoriser le vendeur (et donc la qualité des réponses). Lors d'une telle vente, un seul objet est mis en vente. Le but du vendeur est de maximiser son utilité attendue pour la vente en cours, ne choisissant pas forcément l'offre la plus élevée. Il dispose pour cela d'une évaluation sur son objet. Il demande à chaque acheteur de lui envoyer son évaluation sur l'objet en question. Il calcule alors l'évaluation "virtuelle" que chaque acheteur est susceptible de faire en appliquant une fonction de densité de probabilité. Il attribue l'objet à l'acheteur ayant l'évaluation virtuelle la plus élevée. Cependant, il peut ne pas vendre son objet s'il considère que cette vente lui fera perdre de l'argent. La facturation liée à la vente n'est faite qu'auprès de l'acquéreur. Une version étendue de cette vente a été mise en place par Maskin et Riley [28] où plusieurs unités d'un même objet sont en vente.

Vente aux enchères multi-critères

Les **ventes aux enchères multi-critères** utilisent le principe des ventes inversées. L'acheteur recherche un article à un prix donné auquel il ajoute des caractéristiques supplémentaires comme par exemple la qualité du service, le temps de réponse...Les vendeurs proposent au commissaire priseur une offre constituée du prix de vente et des valeurs qu'ils peuvent proposer sur les critères requis pour l'article. Ce type de vente trouve une vraie utilité dans le cas des appels d'offre des gouvernements [16] ou des entreprises [80]. En effet, ces organismes ne s'intéressent pas uniquement au prix de vente, ils comptent aussi sur une qualité correcte du résultat final. Ces ventes multi-critères se basent sur les modèles de ventes explicitées dans le paragraphe précédent (anglaise et 1er prix scellé pour [22], anglaise pour [80], 1er prix scellé et Vickrey spéciale[10] pour [16]).

Le principe est le suivant. L'acheteur indique au commissaire priseur quel type d'article il recherche et quelles sont les caractéristiques qui l'intéressent sur celui-ci. L'acheteur peut préciser un seuil minimum sur ces caractéristiques afin d'avoir une garantie sur les offres qui lui seront faites [80]. Il fournit également sous la forme d'une fonction mathématique la manière dont il compte évaluer les caractéristiques des articles proposés par les vendeurs. Cette manière de procéder a pour but de permettre à tous de participer de manière équitable en connaissant les règles de la vente. Le but de l'acheteur est de maximiser le résultat calculé à partir de cette fonction lors de la désignation du vainqueur. Celui-ci fournit alors l'article en question (en respectant l'offre qu'il a faite) en contrepartie du prix payé par l'acheteur.

Les ventes aux enchères traditionnelles n'utilisent que le critère d'offre pour réaliser la sélection. Dans le cas de la vente d'un objet, cela ne pose pas d'inconvénient particulier (à moins que l'acheteur soit incapable de payer). Mais si la vente correspond à une requête où un travail particulier doit être fourni, elles ne permettent pas de vérifier les capacités de la personne ayant été sélectionnée. Ce problème est en partie réglé avec les ventes aux enchères multi-critères où l'acheteur spécifie ses besoins. Cependant, l'acheteur recherche ici un objet. Ce type de ventes ne permet pas de réellement réaliser une sélection parmi les participants. En effet, on ne retrouve pas le principe des ventes traditionnelles avec un vendeur et plusieurs acheteurs. Nous retenons de cette présentation sur les ventes aux enchères, le fonctionnement de la Vickrey et plus particulièrement son mode de facturation. Les ventes aux enchères multi-critères nous semblent également intéressantes car le fait que la sélection se fasse sur plusieurs critères nous permettrait de faire intervenir le point de vue de l'initiateur, en plus de celui du fournisseur.

[10] Il utilise le principe de la Vickrey dans deux types de vente. Dans l'une, le vainqueur doit fournir un résultat au moins aussi bon (par rapport à la combinaison prix-critères) que le premier non retenu et dans l'autre, il doit fournir exactement le résultat du premier non retenu (même combinaison prix-critères).

1.2.6.2 Imposition

Lors d'une médiation, le médiateur peut être confronté à un problème particulier : ne pas avoir assez de fournisseurs souhaitant réaliser la requête pour proposer le nombre de fournisseurs désiré par l'initiateur de requêtes. Les raisons possibles pour que certains fournisseurs refusent de faire une requête peuvent être variées : la requête ne les intéresse pas, ils sont déjà surchargés... Que peut faire le médiateur dans ce cas ?

Peu de travaux abordent ce problème. Cependant, une solution est apportée par Shoham et Tennenholtz dans [67] où ils proposent un mécanisme de **réquisition** dans un contexte multi-agent. Ils utilisent les termes de "centre" et d'"agents" pour désigner respectivement le médiateur et les fournisseurs. Le but de leur système est le suivant : dans le cas où *aucun* agent ne souhaite réaliser la requête, le centre sélectionne un agent en lui imposant de la réaliser. On dit qu'il le réquisitionne. Afin qu'il n'y ait pas que cet agent qui souffre de cette réquisition, le centre le dédommage financièrement. Cette compensation est obtenue auprès des autres agents participant à la médiation (ainsi que le réquisitionné lui-même), chacun payant une compensation. L'exemple que les auteurs utilisent afin de démontrer l'utilité d'une telle approche, est la réquisition qu'un gouvernement peut appliquer sur des compagnies privées comme des compagnies aériennes. Une compagnie privée n'a pas de raison de travailler gratuitement.

Nous allons maintenant détailler plus précisément le fonctionnement du mécanisme d'imposition. Le centre ne réquisitionne qu'un seul agent. Les agents annoncent leur coût pour réaliser la requête. Leur mécanisme se base sur le principe de la vente aux enchères Vickrey (section 1.2.6.1), mais en utilisant le coût de réalisation de la requête (et non plus l'offre). Le centre réquisitionne l'agent ayant le plus faible coût et établit une facture pour *tous* les agents. Chacun lui verse un montant équivalent au deuxième plus petit coût de tous les *autres* participants divisé par le nombre total de participants. En ce qui concerne l'agent réquisitionné, il a comme les autres participé à sa propre réquisition (comme on vient de le voir) mais il reçoit en plus un dédommagement équivalent au deuxième plus petit coût annoncé.

Dans la continuité du travail qu'ils ont présenté dans [67], Shoham et Tennenholtz ont ensuite démontré les propriétés économiques que vérifie leur mécanisme de réquisition [60]. Ainsi, ils ont prouvé que leur système permettait d'avoir les propriétés d'*incentive compatible* (définition 1.9), de non-déficit (le centre ne perd pas d'argent lors d'une médiation : il est important qu'il ne subisse pas de perte, n'étant pas directement impliqué dans les échanges financiers) et d'efficacité économique (définition 1.11).

Cette continuité de leur travail [60] apporte également une vision sur des extensions possibles du mécanisme. Ainsi, Shoham et Tennenholtz étudient la possibilité de traiter plusieurs tâches simultanément, en supposant que celles-ci sont ou non indépendantes. Une seconde étude suggère de mettre en place une "pénalité de compétence" afin de compenser le fait que l'agent classé deuxième paie plus que tous les autres agents non sélectionnés. En effet, ceci ne semble pas logique, vu qu'il ne retire au final aucun avantage à être deuxième, n'étant pas sélectionné.

Le mécanisme d'imposition présenté ici permet de résoudre le problème où des agents ne veulent pas réaliser une requête. En effet, son fonctionnement peut être utile dans le but de garantir une réponse à un initiateur dans le cas où des pairs ne désirent pas réaliser la requête. Cependant, il s'appuie sur le cas où l'on considère que *tous* les agents ne veulent pas la faire. Il peut arriver que l'on n'ait pas assez d'agents pour réaliser une requête mais certains sont tout de même d'accord pour la traiter. Nous utilisons le principe de ce mécanisme d'imposition par la suite mais en l'adaptant afin de prendre en compte le fait que des agents voulant ou non faire la requête, puissent cohabiter. De plus, ce mécanisme se basant sur les coûts des agents, ces derniers ne peuvent pas exprimer leur intérêt pour une requête proposée.

Nous passons maintenant au dernier type de mécanisme qui nous intéresse. En effet, un autre aspect important intervient dans les mécanismes de médiation, à savoir la confiance pouvant être placée dans les pairs. Il est primordial pour un pair d'avoir un minimum confiance dans la partie adverse avant d'entamer une relation avec elle sinon, le résultat des négociations pourrait s'avérer désastreux pour lui.

1.3 Approches basées sur la prise en compte de la confiance *(trust)*

Dans la vie de tous les jours, toutes les relations que l'on peut avoir avec des personnes sont directement ou indirectement liées à la **confiance** que l'on place en elles. Certaines personnes vont nous satisfaire car on sait qu'elles sont de confiance et feront tout ce qu'elles peuvent pour nous aider. D'un autre côté, lorsque nous intéragissons avec d'autres personnes en qui nous avons moins confiance, une part de risque existe, nous amenant à être déçus ou à recevoir de mauvais résultats. Un autre exemple peut être exposé dans le cadre d'une vente. Un vendeur connaît la qualité de son produit ainsi que sa valeur. Par contre, l'acheteur ne sait rien sur la qualité du produit, hormis les dires du vendeur. Il prend alors un risque en l'achetant. Si ce vendeur avait été recommandé par quelqu'un d'autre, l'acheteur aurait pris un risque moins grand en acquérant le produit (exemple : la vente en ligne eBay [27]). Ainsi, la confiance est une notion omniprésente dans notre existence sociale.

Le terme de confiance (*trust*) est un concept multidisciplinaire. En effet, on retrouve des définitions de ce terme dans les domaines de la philosophie, la microéconomie, la sociologie, la psychologie... Il a été employé dans le domaine de l'informatique beaucoup plus tardivement. Selon le domaine de l'informatique où la confiance est utilisée (théorie des jeux, systèmes distribués, systèmes multi-agents, contrôle d'accès et sécurité...), elle ne possède pas la même définition, ni représentée ou utilisée de la même manière.

Lorsqu'un utilisateur humain utilise le Web, il dispose d'un nombre important de sources d'informations. Cependant, il n'y a pas de surveillance de ces sources : tout le monde est libre de publier n'importe quoi sous n'importe quel nom avec n'importe quel niveau de qualité. Lorsque cet utilisateur recherche une donnée précise, il va réaliser une sélection basée sur des critères propres, souvent subjectifs. Par exemple, il aura plus confiance dans le site d'un gouvernement plutôt que dans celui d'un citoyen lambda. Cependant, vu que la quantité d'informations disponible est immense, cette recherche doit être automatisée. La sélection doit alors toujours être réalisée sur les critères de l'utilisateur. La confiance a aussi pour objectif de réussir à traduire ces critères de sélection.

D'autre part, la confiance peut permettre aussi d'éviter à des pairs malveillants de s'introduire dans un système. Ces pairs malveillants peuvent en effet intégrer le système et fournir des informations erronées sur d'autres, essayer de dérober les informations d'autres pairs sans passer par le moyen traditionnel de la négociation...

Nous voyons tout d'abord les définitions existantes de la confiance puis les principales caractéristiques attendues pour la confiance. Enfin, nous finissons par une classification des mécanismes de confiance. De nombreux états de l'art sont disponibles au sujet de la confiance (par exemple [32, 5, 73]).

1.3.1 Définitions existantes

De nombreuses définitions sur la confiance existent dans la littérature. Nous avons décidé d'en retenir quatre, celles qui nous ont semblé les plus pertinentes pour notre problème car elles permettent de mieux cerner le problème, à savoir ici la prise en compte du point de vue de l'initiateur.

La première définition vient de la sociologie et a été proposée par Luhmann [46] : "*La confiance est un moyen de réduire la complexité de la société ; complexité créée par l'interaction d'individus ayant des*

perceptions et des buts différents". En effet, dans tout système social, les relations ne sont pas toujours aisées car les participants n'ont pas forcément les mêmes buts ou envies. La confiance peut permettre de faciliter la compréhension de ces relations en permettant de mieux comprendre la base de ces relations.

La deuxième a été définie par Mui *et al*. [49]. Ils se réfèrent au passé de la collaboration entre deux individus afin d'imaginer le comportement futur de l'autre : "*La confiance est une attente subjective qu'un agent a sur le comportement futur d'un autre individu, basée sur le passé de leurs rencontres*". La base de leur définition est l'utilisation du passé commun aux deux individus afin de prévoir ce que la prochaine relation entre les deux pourra apporter. Cette manière de faire est, comme il est précisé, subjective. En effet, rien ne garantit que le comportement futur sera ressemblant au comportement passé.

La troisième définition a été émise par Grandison et Sloman [32] : "*La confiance est l'opinion d'une entreprise sur la compétence d'un individu d'agir de manière sûre, ferme et fiable dans un contexte particulier*". Ici, les auteurs font intervenir deux nouvelles notions importantes, à savoir le contexte et la compétence. Les deux premières définitions illustraient le comportement du pair. Grandison et Sloman s'intéressent surtout aux compétences du pair. En effet, même si l'on a confiance en un pair, si celui-ci n'a pas les capacités pour réaliser ce qu'on lui demande, on sera forcément déçu du résultat final. Le second élément est le contexte. Si l'on demande une information à un pair, dans un contexte X donné, il pourra nous la fournir alors que dans un contexte Y, il n'en disposera plus. Le contexte permet de traduire les éléments de l'environnement qui occupent une place importante dans le résultat. En effet, la confiance que les autres placent dans un pair évolue selon l'état du pair, son fonctionnement, le temps...

Enfin, l'European Commission Joint Research Centre [36] a défini la confiance comme étant "*la propriété d'une relation d'affaires où l'on a confiance dans ses associés et sur la transaction développée avec eux*". Cette définition indique que la confiance peut se rapporter à deux éléments : les pairs eux-mêmes et les informations fournies par ceux-ci. En effet, un pair A peut considérer un pair B comme n'étant pas de confiance mais que B lui fournisse tout de même des informations de qualité. Un pair n'évaluera pas forcément un pair et les informations fournies par celui-ci de la même manière.

1.3.2 Caractéristiques principales

Un certain nombre de caractéristiques sont communes aux différents mécanismes utilisant la confiance.

- La représentation de la confiance :
  Elle peut être représentée sous trois formes : par des valeurs continues (comprises en général entre 0 et 1) [44], discrètes [1] ou binaires [20]. Les valeurs binaires ne permettent pas de nuancer le jugement que l'on a sur une entité, ce que proposent par contre les valeurs continues ou discrètes. Ces types de valeurs ne permettent pas toujours de représenter l'ignorance que l'on a sur la confiance en un pair.
- Nature centralisée ou décentralisée du système :
  Dans le cas des systèmes centralisés, un pair central stocke les retours d'opinion des autres pairs. Il compile alors l'ensemble des résultats afin d'obtenir un score pour chaque pair. Ainsi, un pair peut demander quelle confiance il peut avoir dans tel autre pair. Le problème des systèmes centralisés est qu'en cas de panne, toutes les informations sur la confiance des pairs sont perdues. La majorité des systèmes de confiance est décentralisée. Dans un contexte décentralisé, chaque pair gère individuellement ses opinions sur les autres pairs avec lesquels il a intéragi directement.
- Transitivité :
  Cette caractéristique n'a aucun sens dans le contexte des systèmes centralisés. Mais elle trouve tout son intérêt dans le cadre des systèmes décentralisés. En effet, vue l'étendue du système et de son nombre de pairs importants, un pair peut ne pas connaître tous les autres. Généralement, il a

une opinion sur ses voisins directs avec qui il a déjà intéragi. Mais ces derniers peuvent ne pas suffire au pair afin de satisfaire toutes ses attentes. Le pair A peut savoir qu'un pair C existe mais ne pas être en relation directe avec celui-ci et avoir encore moins d'information sur la confiance qu'il peut lui porter. Cependant, l'agent B, voisin direct de A, connaît C car celui-ci fait partie de ses voisins. B sait qu'il peut avoir confiance en C. Alors, il informe A sur cette confiance : on dit qu'il recommande C au pair A. On parle alors de transitivité de la confiance.

A a confiance en B ; B a confiance en C
$\Rightarrow$ *A peut avoir confiance en C*

L'explication précédente correspond à la transitivité au sens général. Certains systèmes ajoutent des conditions sur la transitivité, on parle alors de transitivité sémantique [37]. Un pair impose des prérequis sur les recommandations qu'il attend. Par exemple, A recherche un mécanicien spécialiste des automobiles et il sait que C et D sont des mécaniciens. B connaît C et D et a une bonne opinion d'eux. Cependant, il sait que C est un bon mécanicien automobile alors que D est un mécanicien bateau. Il peut alors indiquer à A que C est un bon mécanicien de voitures et lui déconseiller d'utiliser D.

- Non symétrie :
  La quasi-totalité des mécanismes utilise une relation de confiance non symétrique. Ainsi, si le pair A a confiance dans le pair B, la réciproque n'est pas forcément vraie. En effet, la confiance étant une notion subjective, chacun a ses critères propres de jugement.

1.3.3 Deux aspects : sécurité vs réputation

Les mécanismes utilisant la confiance peuvent être classés en deux catégories principales. La confiance peut tout d'abord être observée d'un point de vue sécurité. Mais, elle peut aussi être perçue comme correspondante à la réputation du système ou des pairs.

1.3.3.1 Sécurité : règles et certificats

Ce type de gestion est principalement utilisé dans le cadre de la sécurité sur l'accès des ressources détenues par les pairs et pour lutter contre les pairs malveillants. Un exemple facilement compréhensible est l'identifiant et le mot de passe d'un ordinateur ou d'une boîte de messagerie. Ces deux données sont privées et elles garantissent que seule la personne les détenant puisse les utiliser. Le gestionnaire de l'ordinateur analyse ces données ; si elles correspondent, il donne accès à l'utilisateur aux ressources auxquelles il a le droit d'accéder. L'utilisateur doit garder ces données secrètes afin que personne d'autre n'accède à ses ressources. Cependant, l'utilisateur doit aussi pouvoir faire confiance à l'ordinateur lui-même, en étant sûr qu'aucun virus ou autre n'est installé dans le but de lui voler ses ressources ou informations personnelles. La sécurité de la majorité des systèmes se base sur l'échange de certificats entre deux entités, éventuellement par l'intermédiaire d'une troisième entité.

Nous allons maintenant présenter plusieurs mécanismes utilisant la confiance comme base de la sécurité.

PolicyMaker [10] est un mécanisme d'authentification décentralisé. Un pair cherche à accéder à une application. Celle-ci possède un contrôle local sur le mécanisme d'authentification. Cependant, dans PolicyMaker, ce contrôle n'est pas directement intégré au niveau de l'application mais dans un composant servant de moteur d'authentification. Sur la figure 1.7, on observe le moteur en lui-même, ainsi que ses entrées et sa sortie. Ce dernier reçoit en entrée les certificats du pair demandeur, les règles d'authentification du pair receveur et la requête du demandeur. Les certificats utilisés ici correspondent à des clés

publiques, ces clés devant avoir été signées au préalable afin d'être considérées comme recevables : cette vérification, cryptée, se fait au niveau du pair avant d'accepter l'évaluation de la requête. Ces certificats doivent prouver que la requête correspond bien aux règles appliquées par le pair. Le moteur combine ensuite ses données d'entrée afin de pouvoir déterminer si la requête peut être acceptée. Il étudie les règles à sa disposition une à une (en les combinant éventuellement) jusqu'à avoir trouvé si la correspondance se fait bien entre les règles, la requête et les certificats.

KeyNote [9] est dans le prolongement de PolicyMaker en se basant sur les mêmes principes mais en favorisant plus encore le moteur d'authentification, lui permettant aussi de gérer le contrôle d'accès et la vérification des signatures des certificats.

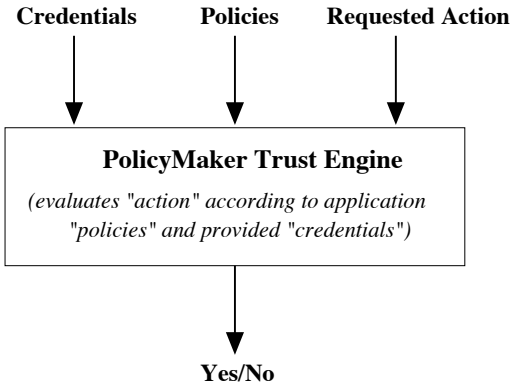


Figure 1.7 – Module d'authentification de PolicyMaker

REFEREE [17] quant à lui est aussi décentralisé mais le contrôle de l'authentification se fait au niveau de l'application elle-même (contrairement à PolicyMaker). Ce sont des applications web qui sont étudiées ici. L'application vérifie aussi les signatures des certificats et éventuellement recherche des certificats supplémentaires si ceux fournis par le pair ne sont pas suffisants. Une application qui utilise REFEREE lui fournit une base de données des programmes disponibles et une liste de règles à respecter. Lors de la vérification des règles à propos de la requête du pair demandeur, trois réponses sont possibles : valide, invalide et inconnu. Dans ce dernier cas, cela signifie que le système de gestion de la confiance est incapable de trouver les certificats suffisants lui permettant de prendre sa décision concernant la requête. C'est l'application qui décide alors ce qui doit être fait : une possibilité peut être de considérer cette réponse comme invalide ou alors de demander des certificats supplémentaires.

1.3.3.2 Systèmes basés sur la réputation

La **réputation** est une notion basée sur les interactions entre les personnes et la manière dont celles-ci les ont interprétées. Il s'agit des interactions passées que le pair a eues directement avec un autre ou les indications fournies par une tierce partie sur ses propres interactions avec un autre pair. Dans le premier cas, on parle d'expériences personnelles alors que dans le second, on parle de recommandations. Dans le cadre des recommandations d'un autre, il faut déjà savoir si cette personne est elle-même digne de confiance. La réputation peut être obtenue en combinant plusieurs éléments, une expérience pouvant être jugée sur plusieurs critères déterminés par le pair. Cette manière de faire rappelle bien la notion de subjectivité qui se cache derrière le terme de réputation.

La réputation sert à déterminer le comportement futur des personnes. Cette évaluation se fait de manière conditionnelle, le comportement de quelqu'un ne dépendant que de lui-même. La réputation est

calculée à partir de nos informations personnelles sur quelqu'un, ou obtenue auprès d'autres entités dans le cas où on ne dispose d'aucune information sur cette personne (et même si on en possède d'ailleurs).

Un exemple relativement connu d'évaluation de la réputation est l'évaluation des transactions dans le cadre de la vente aux enchères en ligne eBay [27]. En effet, lorsqu'une transaction est terminée, le vendeur et l'acheteur peuvent donner leur opinion sur la transaction en elle-même et sur l'autre partie. Concernant le vendeur, il peut indiquer si l'acheteur a effectivement payé l'objet tandis que l'acheteur indiquera si le temps d'envoi n'est pas trop long, si l'objet obtenu est de bonne qualité et correspond bien à ce qui était décrit.

Nous allons présenter différents mécanismes utilisant la réputation comme base de leur fonctionnement.

Le premier mécanisme auquel nous nous intéressons est **REGRET** [63] , un modèle de réputation permettant d'évaluer les transactions entre deux agents. On considère que chaque agent fait partie d'un groupe d'agents, plusieurs groupes existant. Lorsqu'une transaction est effectuée, les deux agents évaluent le résultat. Pour cela, ils stockent les données suivantes : l'identité de l'autre agent, le critère sur lequel ils évaluent la transaction, sa date et l'évaluation en elle-même (valeur entre -1 et 1). Ils peuvent réaliser plusieurs évaluations pour une même transaction, se basant sur plusieurs critères (une évaluation par critère). Ils stockent toutes leurs évaluations dans une base de données afin de pouvoir les reconsulter par la suite. Leur modèle se base sur trois dimensions. La dimension "individuelle" correspond aux impressions qu'un agent a lorsqu'il intéragit directement avec un autre agent. La dimension "sociale" regroupe un ensemble d'informations : ses propres informations sur l'agent et le groupe de celui-ci, et les informations que les agents de son groupe peuvent lui apporter sur cet agent et son groupe. Ces quatre types de données sont combinés, chacun pouvant avoir plus ou moins de poids selon ce que décide l'agent. Enfin, la dimension "ontologique" correspond à l'interprétation des impressions lorsque le jugement se fait sur plusieurs critères. Cette dernière dimension utilise les valeurs obtenues dans la dimension "sociale" afin de calculer la réputation finale. Le modèle considère qu'une réputation ne pourra être considérée comme fiable qu'à partir du moment où l'on a un certain nombre d'évaluations sur un même critère. Un second élément permet de donner de la fiabilité à la réputation. Il s'agit des écarts de variation pouvant exister entre les valeurs des évaluations faites. D'autre part, Sabater et Sierra ont complété leur modèle REGRET [64] en renforçant la manière de calculer la dimension "sociale". Ils ont considéré que tous les agents d'un même groupe peuvent ne pas forcément jouer le jeu de la transparence au niveau des informations dont ils disposent sur d'autres agents. Ils peuvent soit fournir des informations erronées ou alors indiquer qu'ils ne disposent d'aucune information sur l'agent recherché. REGRET réalise alors une sélection au niveau des agents du groupe afin de définir les plus fiables.

Le modèle suivant est **XREP** [20]. Il se situe dans le contexte du partage de fichiers comme par exemple, Gnutella. D'ailleurs, il se base sur le fonctionnement de Gnutella pour gérer la réputation des pairs. Ces derniers sont nommés *servent*, correspondant à la fusion des mots *serveur* et *client*, un pair pouvant jouer les deux rôles simultanément[11]. Un pair stocke deux types de données : les informations relatives aux ressources auxquelles il a accédé (si la ressource était bonne ou mauvaise) et les informations sur les autres pairs avec qui il a intéragi (nombre de succès et d'échecs). Sur la figure 1.8, on constate que XREP se déroule en quatre phases : on indiquera dans la description suivante le nom des messages échangés. Un pair A envoie une requête contenant les mots-clés de sa recherche à tous ses voisins directs (B, C, D) (`Query`). Ses voisins lui indiquent les ressources correspondant à la recherche ainsi que les conditions sous lesquelles le téléchargement pourra se faire (port, débit ...) (`QueryHit`). Le pair initiateur de la requête sélectionne la ressource lui semblant la plus pertinente par rapport aux

[11] On parlera tout de même de pair dans la suite de la description.

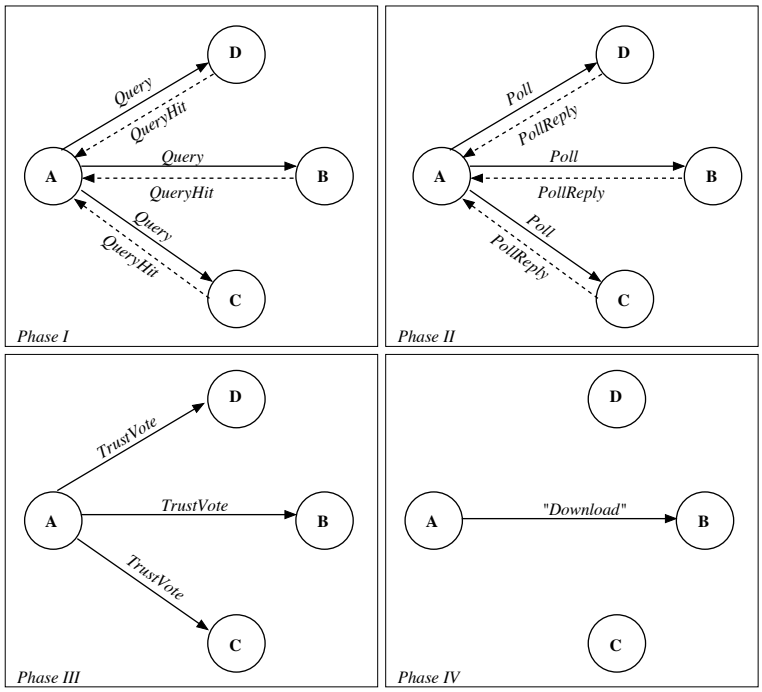


Figure 1.8 – Différentes phases de XREP

critères qu'il attend et qui lui sont propres (la même ressource peut être proposée par plusieurs pairs). Il décide alors de sonder les pairs qu'il connaît afin d'avoir leur opinion sur le pair et la ressource qu'il a sélectionné (`Poll`). Les pairs intérrogés, grâce à leurs informations sauvegardées, peuvent lui répondre et indiquer leur opinion (`PollReply`). Cependant, rien ne garantit que ces pairs soient fiables. Pour faire cette vérification, le pair vérifie la clé publique qu'il leur avait fait parvenir en même temps que le message de sondage ainsi que leur adresse IP afin de s'assurer qu'un même pair ne lui ait pas répondu plusieurs fois. Il réalise alors un tirage aléatoire parmi les pairs restants et les réinterroge afin qu'ils confirment leur vote (`Vote`). Si les votes en retour sont suffisamment positifs, le pair décide de télécharger la ressource, sinon, il réitère le processus pour une autre des ressources qui lui avaient été proposées.

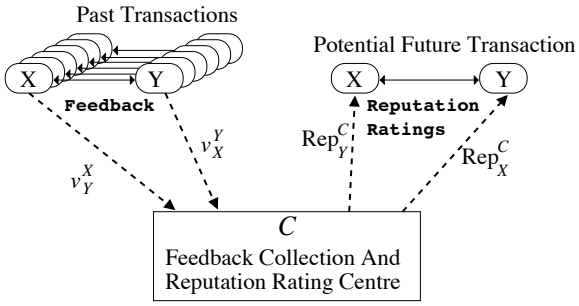


Figure 1.9 – Fonctionnement du mécanisme "système de réputation béta"

Jøsang et Ismail ont proposé un modèle de réputation nommé **système de réputation béta** [35] dans le domaine du e-commerce. Ce système est basé sur la théorie des statistiques. Il est appliqué dans un

contexte centralisé : un centre stocke les retours d'opinion de tous les agents sur leurs transactions et il peut fournir la réputation d'un agent à un autre (noté C sur la figure 1.9). La fonction bêta (utilisée dans les fonctions de densité de probabilité) se base sur le nombre d'apparitions de deux sorties possibles : x_1 et x_2. En étudiant le nombre de fois où chacune de ces sorties est apparue (observation du passé), la fonction bêta permet d'estimer la probabilité que l'évènement x_1 arrive la prochaine fois (ou tout du moins, sa fréquence d'apparition). Le problème rencontré est que la réputation ne se traduit pas de façon binaire. La fonction bêta a donc été adaptée afin de pouvoir être utilisée sur des valeurs continues pour obtenir une fonction de réputation exprimée entre -1 et 1. C'est le centre qui utilise la fonction béta. Afin que celui-ci puisse fournir une valeur unique sur la réputation d'un agent, une fonction permettant de combiner les valeurs de réputation est utilisée, additionnant l'ensemble des valeurs. Le centre ajoute une notion d'ancienneté sur les opinions fournies par les agents. En effet, les anciennes opinions sur un agent n'ont pas le même poids que celles qui sont plus récentes. Dans le passé, un agent a pu avoir des bonnes ou mauvaises opinions ne correspondant plus à la réalité actuelle. Sur la figure 1.9, on voit les transactions passées entre deux agents X et Y. Les retours d'opinion sont stockés au niveau du centre qui utilise la fonction béta afin de ne stocker qu'une valeur globale pour l'ensemble des transactions. Ainsi, si X et Y désirent collaborer à nouveau, ils interrogent tous deux le centre afin d'obtenir l'évaluation faite sur l'autre pour tester leur éventuelle future collaboration.

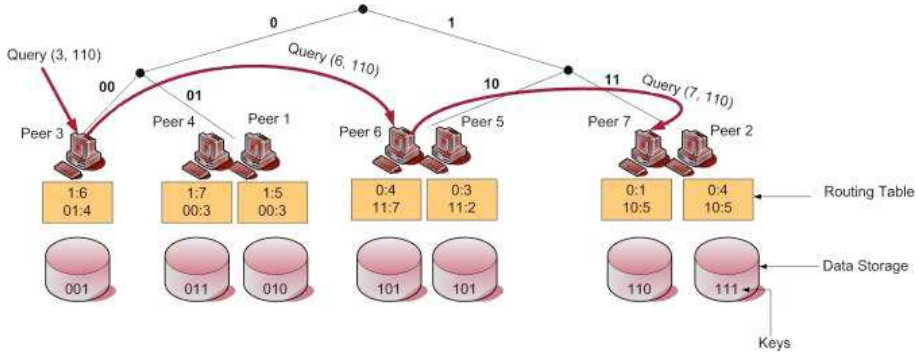


Figure 1.10 – Exemple de fonctionnement de P-Grid

Le mécanisme proposé par Aberer et Despotovic [3] se base sur l'architecture de **P-Grid** [2]. Dans cette architecture, un arbre de recherche des ressources est utilisé, se basant sur un index binaire. Un agent sait à qui faire suivre une requête selon la clé de recherche fournie dans ce message. Ainsi, lorsqu'un agent cherche une ressource, il envoie sa requête à un agent qui répond s'il peut traiter la requête ou il la fait suivre à l'agent ayant la clé correspondante (ou tout du moins le préfixe de cette clé). Cet arbre est établi sur la base des interactions pouvant exister entre les différents agents. Ainsi, sur la figure 1.10, on voit que si un message est envoyé à l'agent 3, selon le préfixe de la clé, il sait s'il doit traiter le message ou le faire suivre : si la clé est "00", il sait que le message lui est adressé ; si elle commence par un "1", il sait qu'il doit le faire suivre à l'agent 6 ; si le préfixe vaut "01", le message est destiné à l'agent 4. En ce qui concerne le mécanisme de réputation, lors d'une transaction, si un agent juge qu'il y a eu tromperie de la part de l'autre partie, il peut déposer une plainte contre l'autre agent. Ce dernier peut lui aussi porter plainte afin de semer le doute sur qui est le trompeur. Ces plaintes sont stockées chez des agents conservant toutes les plaintes concernant un ou plusieurs agents (ainsi, on voit sur la figure 1.10 que l'agent 3 stocke les plaintes concernant les agents 4 et 6). La réputation d'un agent est ainsi obtenue en étudiant l'ensemble des plaintes faites par et contre cet agent. Elle est représentée de manière binaire. Lorsqu'un agent désire obtenir la réputation d'un autre (agent a), il doit trouver qui stocke les plaintes

éventuelles sur cet agent a : il envoie un message de demande d'information sur l'agent a. Quand il a trouvé ces agents, il reçoit un message de chacun indiquant le nombre de plaintes que celui-ci connaît sur l'agent a et le nombre de fois qu'il a reçu le message de demande. Il peut en effet le recevoir plusieurs fois, celui-ci étant transféré par ceux ne sachant pas y répondre (cela permet de savoir si cet agent a une forte influence dans le système). Une fois qu'il les a trouvé, il doit se méfier que ces agents stockeurs ne soient pas malicieux eux aussi en annonçant des mauvaises informations. Si les informations sur les plaintes viennent de plusieurs agents et sont similaires, il y a peu de risques sur le fait qu'elles soient invalides. Sinon, si des avis contraires arrivent, il faut vérifier la fiabilité des agents.

Quatres autres exemples de mécanismes utilisant la réputation des pairs seront expliqués plus en détail dans la section suivante (section 1.4).

On a pu voir dans cette section que la confiance peut être traduite sous différentes formes et ne pas forcément représenter la même chose. La notion de sécurité est importante afin de se protéger de toute attaque sournoise venant d'autres pairs mais cet aspect de la confiance ne sera pas abordé dans cette thèse. On se focalisera sur la réputation gérée par les processus de médiation. Lorsqu'un pair intéragit avec un autre, il est important pour le premier autant que pour le second d'ailleurs d'être certain de l'honnêteté de l'autre. On a vu que diverses méthodes existaient : plaintes, probabilités sur les évènements futurs, les votes...Les mécanismes présentés ici n'utilisent pas du tout d'aspect monétaire. Dans les médiations que l'on souhaite étudier, les mécanismes seront constitués d'une partie économie et d'une autre partie confiance.

1.4 Comparaison de différents mécanismes utilisant offre/coût ou confiance

Nous avons introduit précédemment les éléments de l'étude sur les processus de médiation auxquels nous nous intéressons plus particulièrement. Nous présentons cinq mécanismes qui nous ont semblés pertinent par rapport au problème de la médiation auquel on s'intéresse, à savoir prendre en compte à la fois le point de vue des initiateurs et celui des fournisseurs. Ces mécanismes utilisent soit l'offre et/ou le coût et un aspect de confiance. Ces travaux montrent les possibilités offertes à l'initiateur de requêtes et aux fournisseurs. Tout d'abord, nous explicitons leur principe de manière générale puis nous réaliserons une étude comparative entre chaque.

1.4.1 Plateforme Mariposa

Mariposa [71] est une plateforme permettant de gérer une grande quantité de données réparties sur un nombre important de sites, chacun disposant d'un espace de stockage propre. Elle est intégrée dans un système pair à pair, les sites étant représentés par des pairs. Les données correspondent à des classes de bases de données subdivisées en collection de fragments que chacun gère en local chez lui. Un fragment (unité de stockage) est constitué des métadonnées de sa classe et des instances de données qui le composent. Les données peuvent migrer d'un site à l'autre, entraînant une non-synchronisation des données (aucun site n'a une connaissance globale de l'état de la BD, les sites étant libres d'agir à leur guise sur les fragments en leur possession : ajout d'attributs, division ou fusion de données). De plus, les fragments peuvent être copiés afin d'utiliser la copie dans un endroit autre que le site d'origine. Les sites sont hétérogènes car ils ne disposent pas des mêmes capacités, et autonomes à savoir que chacun est libre d'appliquer sa politique de gestion sur ses données et leur stockage (ces politiques sont dynamiques et appliquées selon l'arrivée d'évènements).

Mariposa combine différentes approches propres au domaine de la gestion des bases de données. La plateforme stocke ses données sous forme de fragment et non de fichiers, ces données étant libres de se déplacer. Elle propose aussi la possibilité que la requête se déplace vers la donnée.

Nous allons maintenant nous intéresser plus particulièrement au fonctionnement interne de la plateforme. Comment sont réellement gérées les données lorsqu'une requête est posée à un pair ? Stonebraker *et al*. [72] ont mis en place un mécanisme économique où trois types de sites existent (chaque site peut jouer plusieurs rôles simultanément) : **client**, **broker** et **serveur** (correspondant respectivement dans le problème qui nous intéresse à l'initiateur de requêtes, au médiateur et au fournisseur). Comme le rôle de broker peut être assuré par tous, cela empêche les blocages en cas de défaillance d'un site. L'objectif des sites est de maximiser leur revenu par unité de temps, ainsi ils doivent gérer au mieux leurs stocks, leurs ressources... Pour cela, ils gardent à jour un historique sur leurs fragments afin de connaître leur fréquence d'utilisation et le revenu que ceux-ci ont occasionné. Voici le comportement lié aux trois rôles :

- client : il reçoit les requêtes d'applications utilisateurs externes. Chacune se voit attribuer un budget dans une monnaie artificielle pour son exécution. Ce budget est fixé selon l'intérêt que l'application porte à la requête : cet intérêt diminue en fonction du temps, le budget imparti aussi. Le client envoie alors sa requête à un broker.
- serveur : il fournit les données ou les métadonnées sur une requête. Il peut vendre ou acheter des fragments à d'autres sites.
- broker : pour chaque requête reçue il établit un plan d'exécution en la subdivisant en sous-requêtes afin de la résoudre. Il interroge les serveurs afin de savoir si ce plan est correct au niveau des métadonnées. Si ce n'est pas le cas, le plan est invalidé et un autre doit être établi. Une fois cette étape réalisée, il essaye de paralléliser au maximum son exécution afin de gagner du temps. Ensuite, il coordonne l'obtention des fragments nécessaires à la réalisation de ce plan et décide à qui il envoie ces sous-requêtes. Pour cela, il réalise une première sélection au travers de mécanismes tel que des pages jaunes (ou d'autres mécanismes utilisant des techniques plus précises) ou encore en intégrant les sites qu'il connaît déjà. Deux méthodes existent afin de faire un second choix parmi les premiers retenus.
  1) Le broker envoie la requête à un ensemble de serveurs potentiels. Chacun examine alors cette sous-requête : s'il possède le fragment en question, il fait une offre constituée du coût et du délai de traitement qu'il propose et du temps de validité de cette offre. Il cherche une allocation permettant de trouver une réponse à toutes les sous-requêtes en respectant le budget du client.
  2) Si le broker estime que le budget n'est pas suffisant pour la traiter de la première manière, il décide alors de l'envoyer à un seul site, celui-ci exécute la requête et lui envoie le résultat et la facture pour le travail accompli. Cette méthode peut poser problème car le broker ne connaît pas à l'avance le coût et le délai de ce site, ce qui peut l'amener à payer plus qu'avec la méthode précédente. Cependant, dans les deux solutions, le site recevant peut refuser de réaliser cette sous-requête, le site envoyeur doit alors renvoyer cette requête à d'autres. De plus, si une sous-requête est proposée à un site alors qu'il ne possède pas le fragment adéquat, il peut examiner son historique afin de savoir s'il est intéressant d'obtenir ce fragment ou une copie pour répondre au travail demandé. Si une sous-requête n'est pas exécutée, alors la requête toute entière est abandonnée. Au final, la somme de tous les coûts ainsi que le délai d'exécution doivent correspondre au budget initialement alloué à la requête.

Un des avantages de Mariposa est que la plateforme autorise la copie des fragments. Si un site a une défaillance, une copie sera sans doute disponible sur un autre site : la donnée concernée ne sera donc pas perdue. Dans le même ordre d'idée, le fait que les fragments puissent migrer ou non permet d'optimiser

le coût d'exécution en choisissant la solution la moins coûteuse. Par contre, une requête n'est pas assurée d'obtenir une réponse. Ainsi, si une sous-requête n'a pas été attribuée à un site, la requête toute entière ne pourra être traitée. Le client n'aura donc pas de réponse, même partielle à sa requête. Lorsque la deuxième technique de réalisation d'une requête est utilisée, la qualité de la réponse n'est pas garantie car le broker n'a interrogé qu'un seul site. Une meilleure réponse existe peut-être sur un autre site.

1.4.2 Conception de mécanisme basé sur la confiance

Le mécanisme mis en place par Dash *et al.* [21] se situe dans le contexte d'allocation de tâches. Traditionnellement, les mécanismes économiques purs sélectionnent les agents qui ont les coûts les plus faibles pour réaliser les tâches, ce qui permet au système d'être le plus efficace possible selon les principes microéconomiques prédéfinis. Or, dans le déroulement d'une médiation, rien ne garantit qu'un agent arrive à achever sa tâche. L'étude de cette caractéristique fait partie des principaux centres d'intérêts dans la communauté agent. En effet, dans un environnement agent, le coût le moins élevé d'un agent pour réaliser la tâche ne garantit pas que cet agent soit le plus efficace (efficacité au niveau de la réponse : temps, qualité). Pour cette raison, Dash *et al.* ont ajouté la confiance dans leur mécanisme.

Leur notion de confiance est représentée par la perception qu'a un agent sur la probabilité de succès (POS) des autres agents pour une requête donnée (cette valeur peut évoluer d'une requête à une autre). Une fonction permet de calculer cette probabilité de succès en regroupant la probabilité de succès que l'agent i a personnellement sur un agent j et toutes les probabilités de succès envoyées par les autres agents connaissant l'agent j. Plusieurs méthodes sont proposées pour regrouper ces différents éléments : chaque valeur a le même poids, l'agent i accorde plus d'importance à sa propre opinion, ou le poids alloué varie selon le type et la similitude de chaque agent avec l'agent i. La confiance s'affine au fur et à mesure car plus il y a d'interactions, plus les probabilités de succès sont fiables.

Dans leur mécanisme, Dash *et al.* utilisent les termes de centre, demandeur et agent pour désigner respectivement le médiateur, l'initiateur de requêtes et le fournisseur. Pour chaque requête, chaque agent évalue son coût de traitement de la requête (coût) et l'intérêt qu'il lui porte (i.e. son estimation sur le bénéfice escompté de son traitement). Les agents peuvent jouer en même temps le rôle d'agent et de demandeur. Tout d'abord, le centre reçoit un ensemble de tâches indépendantes à allouer simultanément. Une tâche ne demande qu'un seul agent et un agent peut en obtenir plusieurs. Le centre demande alors leurs informations aux agents, à savoir leur coût, leur estimation, toutes les probabilités de succès sur les agents qu'ils connaissent et leur fonction personnelle pour calculer leur probabilité de succès (c'est à dire, les poids que l'agent applique à chaque POS). Pour réaliser une allocation, le centre a pour but de maximiser l'utilité globale attendue pour tout le monde, calculée à partir de la différence entre la somme des estimations combinées aux probabilités de succès de chacun des agents auxquelles les requêtes ont été attribuées et la somme des coûts. Cette seconde partie du calcul est fixe, les coûts étant dûs quoi qu'il arrive, tandis que la première partie dépend de l'aboutissement de l'allocation. En effet, les estimations sur le bénéfice sont comptabilisées uniquement si le sélectionné a bien honoré son contrat. Le centre établit alors une facturation aux agents qui ont obtenu une tâche à exécuter. L'agent recevra de l'argent s'il a réalisé totalement sa tâche. Sinon, il devra verser de l'argent au centre pour le dédommager de ne pas avoir respecté son contrat.

Leur système dispose des propriétés économiques suivantes : l'efficacité sociale (maximisation de l'utilité globale des agents), la rationalité individuelle et l'incentive compatibility. Ils présentent également le mécanisme de Porter *et al.* (section 1.4.3) comme un cas particulier de leur système.

1.4.3 Conception de mécanisme dans un contexte incertain

Le mécanisme de Porter *et al.* [59] s'inscrit également dans le contexte de l'allocation de tâches. Son objectif est de combiner la garantie d'une réponse avec le plus faible coût possible. La garantie d'une réponse correspond à l'incertitude pesant sur l'achèvement ou l'échec de l'exécution de la tâche. Plusieurs types d'échecs existent : une cause indépendante de la volonté de l'agent l'empêche de mener à terme sa tâche ou alors, l'agent peut décider de lui-même de sacrifier la tâche en cours car par exemple, une tâche plus intéressante lui a été proposée entre-temps.

Les agents (i.e. les fournisseurs) déterminent leur coût et leur probabilité d'échec pour chaque tâche. Ces deux données sont indépendantes, à savoir que le coût ne sera pas maximal si la probabilité d'échec est nulle. Le centre (représentant le médiateur dans leur système) a pour but d'allouer un ensemble de tâches indépendantes. Chaque tâche est allouée à un seul agent, un agent pouvant en obtenir plusieurs. Le centre possède une évaluation sur les tâches afin de savoir ce que chacune peut lui apporter comme satisfaction. Il interroge les agents sur leurs couples coût/probabilité. Ensuite, il doit déterminer à qui il attribue les tâches. Pour cela, il maximise la différence entre l'estimation globale attendue pour toutes les tâches et le coût total. Si le centre n'est pas capable d'attribuer une tâche (par exemple, aucun agent n'est capable de la réaliser) alors, il considère qu'il la donne à un agent 0 ayant une probabilité de succès et un coût égaux à zéro. Ainsi, le centre établit un vecteur d'attribution et de paiement contenant les informations pour toutes les tâches. Il indique l'ensemble de tâches obtenu par chaque agent supposant que celui-ci a la volonté de les réaliser. Une fois que l'agent a réalisé sa tâche, le centre le paie pour son travail. Si au delà d'un temps prédéterminé, le centre remarque que l'agent n'a pas fini sa tâche, il lui réclame de l'argent en compensation. On note tout de même que le centre ne perd pas d'argent. En effet, lorsqu'il paie un agent, il ne lui donne que ce qu'il a eu comme bénéfice sur la tâche, ce bénéfice étant obtenu à partir de son estimation et de ce qu'il compte faire de la tâche. Le centre ne va jamais réaliser une allocation pénalisante pour lui.

Ce mécanisme dispose d'un certain nombre de propriétés microéconomiques, à savoir l'efficacité sociale, la rationalité individuelle pour les agents et pour le centre (c'est à dire qu'il ne dépense pas plus que ce que sa satisfaction autorise) et l'*incentive compatibility* (définitions en section 1.2.5.3). De plus, Porter *et al.* montrent que lorsque ce système est utilisé dans le cadre d'un ensemble de tâches combinées ou d'une succession de requêtes interdépendantes, ils n'arrivent pas à garantir ces propriétés, la dépendance provoquant la perte des propriétés de rationalité individuelle et d'*incentive compatibility*.

1.4.4 Modèle agents basé sur la confiance

Le mécanisme de Gorobets et Nooteboom [31] utilise la notion de confiance pour réaliser la sélection des agents. On se situe ici dans le domaine de l'économie des coûts de transactions (Transaction Cost Economics - TCE). En TCE, on parle de production de produits et non pas d'allocation de tâches. Lors d'une transaction, des relations entre les agents peuvent se créer ou disparaître. Or, cela entraîne une complexité du problème empêchant d'obtenir une efficacité maximale dans la sélection finale. Le mécanisme a pour but de montrer que la confiance peut apporter une solution à ce problème afin de satisfaire le profit de chacun. Ici, la confiance évoque l'absence d'opportunisme des agents, à savoir que plus une relation est longue entre deux agents, plus la confiance s'instaure entre eux.

Deux rôles existent, à savoir acheteur (correspondant à l'utilisateur dans notre étude) et fournisseur. Un acheteur peut soumettre la production de l'article qu'il désire acheter aux fournisseurs. Il peut aussi produire lui-même l'article s'il considère que c'est plus rentable pour lui. Les relations entre acheteurs et fournisseurs sont établies sur la base des préférences de chacun, de leur confiance mutuelle et de

leurs profits potentiels. La confiance définie ici est basée sur la durée des relations : plus on est en affaire avec quelqu'un, plus la confiance que l'on place en cette personne augmente. Une relation est considérée comme cassée lorsqu'un acheteur n'a pas envoyé de requête à un fournisseur donné ou lorsque ce fournisseur a refusé une requête de cet acheteur. La confiance en l'autre diminue alors. La notion de profit ou rentabilité est différente selon les deux types d'agents. Pour les acheteurs, le profit se traduit par la diversification des différents produits en vente obtenus auprès des fournisseurs tandis que pour les fournisseurs, il faut qu'ils obtiennent un coût de production le plus faible possible (typiquement en regroupant la production d'un même objet demandé par plusieurs acheteurs).

Le mécanisme en lui-même se déroule ainsi. On parle de session pour désigner un tour de fonctionnement du mécanisme. Tout d'abord, chaque agent (acheteur ou fournisseur) classe tous les autres agents qu'il connaît selon un score qu'il leur attribue. La formule du score est obtenue en combinant les informations sur la confiance et la rentabilité qu'il possède sur cet agent. Un autre paramètre intervient, jouant le rôle de poids, il permet de privilégier plus la confiance que la rentabilité ou vice-versa. En cas d'égalité lors du classement, un tirage aléatoire est réalisé pour départager les ex-aequos. L'acheteur a un nombre donné de requêtes à envoyer et un seuil de tolérance calculé à partir de la rentabilité du produit. En dessous de ce seuil, il décide qu'il n'est pas rentable pour lui de confier le travail à un autre, il le réalisera lui-même. Il lui reste encore un certain nombre de requêtes à attribuer, requêtes qu'il envoie aux premiers de son classement, une par fournisseur. Du côté du fournisseur, celui-ci se limite à accepter un nombre maximal de requêtes lors d'une session. Le fournisseur accepte les requêtes temporairement sur la base de son classement (il accepte prioritairement les requêtes des acheteurs les mieux classés). Le surplus de demandes est rejeté. Ainsi, les acheteurs concernés doivent renvoyer ces requêtes aux fournisseurs suivants dans leur liste, jusqu'à avoir atteint la limite de leur seuil de tolérance. Lors de ce nouvel envoi, un fournisseur peut accepter de nouvelles requêtes d'acheteurs en qui il a plus confiance, ce qui entraîne qu'il rejette alors certaines qu'il avait acceptées précédemment. Ce processus continue tant que toutes les requêtes n'ont pas été attribuées soit à un fournisseur, soit à l'acheteur lui-même. Les fournisseurs acceptent alors définitivement de réaliser leurs requêtes.

Une fois cette phase terminée, les fournisseurs choisis réalisent le travail demandé, les autres ne faisant rien. Concernant les acheteurs, ceux n'ayant pas trouvé assez de fournisseurs acceptables au niveau rentabilité et/ou confiance réalisent eux-mêmes leurs requêtes puis vendent leurs produits et ceux des fournisseurs sur le marché économique afin de réaliser le profit attendu. Ensuite, ce profit est redistribué équitablement auprès des fournisseurs qui ont travaillé avec une part pour l'acheteur sur les produits réalisés par lui-même. Ils peuvent ensuite mettre à jour leur critère de rentabilité et de confiance pour la session suivante. La session en cours est alors terminée.

1.4.5 Mécanisme de vente aux enchères permettant une efficacité et des revenus optimaux

Likhodedov et Sandholm [45] proposent un mécanisme de vente aux enchères maximisant l'utilité globale attendue par le système, à laquelle est ajoutée une contrainte sur l'utilité attendue du vendeur, celle-ci ne devant pas être inférieure à un seuil donné. Comme nous sommes dans une vente aux enchères, l'utilisateur, le médiateur et les fournisseurs sont représentés par les acteurs classiques d'une telle vente, à savoir respectivement par le vendeur, le commissaire priseur et les acheteurs.

Le but du mécanisme est de satisfaire en même temps les intérêts du vendeur et des acheteurs. Or, les objectifs de ces différents acteurs entrent en conflit lors d'une vente. Le premier essaye de vendre le plus cher possible son objet (représenté dans ce mécanisme par une vente aux enchères de Myerson [50]), les seconds tentent d'obtenir ce même objet le moins cher possible (représenté par une vente aux enchères de

Vickrey [78]). Pour qu'une vente aux enchères soit efficace et fournisse de bons résultats, il faut qu'elle ait un nombre suffisant d'acheteurs et que les vendeurs proposent des objets intéressants. Si elle favorise plus les uns que les autres, le commissaire priseur prend un risque certain. Chacune des deux parties peut décider de partir si elle se sent défavorisée. Ainsi, c'est au commissaire priseur de décider dans quelle mesure il gère les deux types d'intérêts.

Le principe du mécanisme est le suivant. Le rôle du commisseur priseur est joué par le vendeur lui-même. Il met en vente plusieurs unités d'un même objet, chaque acheteur potentiel ne pouvant en acheter qu'une. Tous les acheteurs intéressés lui soumettent leur offre, calculée à partir de l'estimation qu'eux-mêmes ont faite de cet objet. Une fois que le vendeur a reçu toutes les offres, il calcule l'allocation des unités et le paiement qui lui est associé. Pour cela, il s'attache à faire respecter le mécanisme, étant directement concerné par la contrainte de seuil imposée sur son utilité attendue personnelle. Pour cela, il dispose d'une estimation sur l'objet qu'il met en vente (chaque unité ayant la même). Dans un premier temps, il regarde si une vente aux enchères de type Vickrey respecte la contrainte faite sur son utilité. Si oui, cette allocation est retenue. Sinon, il applique un calcul permettant de maximiser l'utilité globale attendue du système (comprenant la sienne et celle de tous les acheteurs), et garantissant que son utilité attendue soit au dessus du seuil donné. Cela peut l'amener par exemple à refuser de vendre des unités s'il réalise une perte en les vendant : cela revient à dire que l'estimation qu'il en avait faite était plus élevée que les offres restantes faites par les acheteurs. L'estimation joue le rôle de prix de réserve.

Les propriétés économiques de ce mécanisme sont : l'efficacité sociale, la rationalité individuelle et l'incentive compatibility. Pour ce qui est de l'efficacité sociale, elle ne dépend que de l'allocation, et absolument pas de l'aspect financier (paiement).

1.4.6 Étude comparative

La comparaison entre ces différents mécanismes a pour but de nous montrer que des mécanismes essayant de combiner la prise en compte du point de vue de l'initiateur et des fournisseurs existent. Cependant, nous nous apercevons qu'ils ne remplissent pas totalement les conditions que nous cherchons à remplir pour résoudre ce problème. La comparaison va être réalisée sur la base de plusieurs éléments :

- les entrées et sorties des mécanismes,
- les fonctionnalités offertes à l'initiateur de requêtes,
- les caractéristiques du fournisseur.

Afin d'avoir les mêmes bases pour la comparaison, nous parlerons pour tous d'initiateur de requêtes, de médiateur et de fournisseur et de pairs lorsque l'on parlera des entités en général.

1.4.6.1 Entrées et sorties des mécanismes

Il nous semble intéressant d'étudier les entrées et sorties des différents mécanismes dans le but de bien identifier les bases de chaque mécanisme (voir table 1.6), c'est-à-dire les critères de sélection de chacun.

Pour les entrées, on remarque deux éléments importants. Les deux derniers mécanismes "Modèle agents basé sur la confiance" et "Mécanisme de vente aux enchères permettant des revenus et une efficacité optimaux" [31, 45] utilisent un fonctionnement basé sur les ventes aux enchères, ce qui implique qu'ils utilisent les offres ou préférences des fournisseurs. Les autres mécanismes [72, 21, 59] utilisent le coût d'exécution supposé des fournisseurs. L'utilisation des coûts d'un côté et des offres de l'autre n'apporte pas les mêmes fonctionnalités aux mécanismes. En effet, les offres permettent aux fournisseurs d'indiquer l'intérêt qu'ils portent à la requête tandis que pour les coûts, ce n'est pas le cas. Les coûts

	Entrées	**Sorties**
Plateforme Mariposa [71, 72]	• coût • le budget de l'initiateur de requêtes • temps d'exécution prévu • temps de validité des offres	• allocation • facturation
Conception de mécanisme basé sur la confiance [21]	• coût • évaluation • probabilités de succès des pairs	• allocation • facturation
Conception de mécanisme dans un contexte incertain [59]	• coût • probabilité d'échec	• allocation • facturation
Modèle agents basé sur la confiance [31]	• préférences • confiance • profits attendus	• allocation • distribution des profits
Mécanisme de vente aux enchères permettant des revenus et une efficacité optimaux [45]	• offre • seuil de réserve de l'initiateur de requêtes	• allocation • facturation

Table 1.6 – Entrées et sorties des mécanismes

traduisent juste le prix que représente l'exécution de la requête, ce qui est indépendant de l'intérêt qu'ils lui portent.

Un second élément que l'on retrouve dans plusieurs mécanismes est la confiance, regroupée sous plusieurs termes dans les entrées des mécanismes : confiance [31], probabilité d'échec [59] et probabilité de succès [21]. Ces trois mécanismes permettent de garantir à l'initiateur de requêtes une certaine sécurité au niveau des réponses qu'il va obtenir. En effet, le médiateur fait son choix en fonction de la probabilité que le fournisseur termine la requête, fait qui intéresse prioritairement l'initiateur de requêtes. Pour les deux autres mécanismes, cette sécurité est obtenue d'une autre manière. Dans Mariposa [72], l'initiateur alloue un budget pour la requête qu'il pose. Ainsi, si le prix proposé est assez élevé, le médiateur pourra s'adresser à des fournisseurs plus sûrs de répondre et ayant un temps de réponse correct. Dans le mécanisme de Likhodedov *et al.* [45], le seuil de réserve imposé par l'initiateur permet à celui-ci de ne pas attribuer des requêtes à perte. Sa sécurité est alors financière.

On constate tout d'abord que tous les mécanismes ont en sortie l'allocation et le paiement liés à la requête, hormis "Modèle de confiance basé sur des agents" [31] que nous avons différencié car ils sont les seuls à garantir que les fournisseurs vont recevoir de l'argent pour le travail effectué. En effet, le mécanisme fonctionne un peu de la même manière qu'une vente aux enchères inversée (section 1.2.6.1), à savoir que l'initiateur de requête recherche des objets que les fournisseurs vont produire. Dans les autres mécanismes, la facturation peut correspondre soit à un paiement du fournisseur vers le médiateur, soit un paiement du médiateur pour le travail réalisé par le fournisseur.

	Possibilité de jouer le rôle de médiateur ?	**Nombre de pairs fournis par requête**	**Retour d'opinion sur la réponse**	**Retour d'opinion sur les fournisseurs**	**Requête nécessairement traitée**
Plateforme Mariposa [71, 72]	-	1			-
Conception de mécanisme basé sur la confiance [21]	-	1	×	×	
Conception de mécanisme dans un contexte incertain [59]	×	1			-
Modèle agents basé sur la confiance [31]	×	1	-	×	×
Mécanisme de vente aux enchères permettant des revenus et une efficacité optimaux [45]	×	n	-	-	-

Légende

case "×"	case "-"	case vide
le mécanisme remplit la condition	il ne remplit pas la condition	aucune information disponible

Table 1.7 – Fonctionnalités offertes aux initiateurs de requêtes

1.4.6.2 Fonctionnalités offertes aux initiateurs de requêtes

En ce qui concerne l'initiateur de requêtes, plusieurs éléments nous semblent importants : ils sont représentés dans la table 1.7. Tout d'abord, certains mécanismes regroupent le fonctionnement du médiateur et de l'initiateur en une seule entité. Ensuite, le nombre de réponses qu'il peut obtenir. En effet, lorsqu'il pose une requête, il est normal qu'il obtienne le nombre de réponses qu'il désire et que ce nombre ne soit pas nul (*nombre de pairs par requête*). Si aucune réponse ne peut être fournie (*requête nécessairement traitée*), cela peut poser problème car l'initiateur ne sera pas satisfait. De plus, nous allons examiner si l'initiateur peut fournir son opinion sur d'une part les réponses qu'il a obtenu (*retour d'opinion sur la réponse*) et d'autre part sur les pairs eux-mêmes (*retour d'opinion sur les pairs*) afin de savoir si les réponses pourraient être améliorées par la suite. Nous tenons à faire remarquer que certains des mécanismes ne donnent pas de précision sur tous ces critères.

Dans certains mécanismes présentés, les utilisateurs ont un rôle plus actif que dans d'autres. Ainsi, les initiateurs des deux premiers mécanismes [72, 21] ne font qu'envoyer les requêtes au médiateur et attendent les réponses. Par contre, dans les trois autres [59, 31, 45], les rôles d'initiateur et de médiateur sont confondus, entraînant que l'initiateur gère lui-même le fonctionnement du mécanisme.

Concernant le nombre de réponses, seul le mécanisme de Likhodedov *et al.* [45] permet d'obtenir plusieurs réponses, ou tout du moins de vendre plusieurs unités du produit proposé. Tous les autres ne

fournissent qu'une seule réponse, ce qui limite les possibilités de l'initiateur dans la réalisation de son choix. Un autre problème apparaît au niveau des réponses, à savoir que certains mécanismes [72, 59, 45] peuvent ne pas fournir de réponse à l'initiateur. Ce problème est encore plus ennuyeux que d'avoir un nombre de réponses limité.

Enfin, au niveau des retours d'opinion, il est intéressant pour l'initiateur de pouvoir donner son avis sur les pairs qui lui ont été proposés et les réponses que ceux-ci ont fournies. Seul le mécanisme proposé dans la "Conception de mécanisme basé sur la confiance" [21] offre cette possibilité. Il combine les rôles d'initiateur et de fournisseur. Ainsi les pairs concernés ont une probabilité de succès indiquant la confiance qu'ils ont envers les autres pairs. Cette confiance est définie pour chaque type de requêtes. Ils peuvent ainsi se faire leur opinion à la fois sur les pairs mais aussi sur les réponses. Dans le système de Gorobets *et al*. [31], la confiance et les profits utilisés sont mis à jour à la fin de chaque négociation. Ces critères caractérisent les pairs et non pas les réponses. Pour les autres mécanismes [72, 59, 45], ces caractéristiques ne sont, soit pas prises en compte, soit pas fournies. Pourtant, faire un retour d'opinion sur les négociations précédentes peut permettre, d'une part, d'améliorer le mécanisme et d'autre part, d'améliorer les réponses obtenues.

1.4.6.3 Caractéristiques des fournisseurs dans les mécanismes étudiés

Au niveau des fournisseurs, plusieurs aspects sont importants (voir table 1.8). Ainsi, il est intéressant d'étudier si les fournisseurs ont des informations privées telles que l'évaluation qu'ils font de la requête, leur schéma de base de données..., leur manière d'indiquer ce qu'ils désirent auprès du médiateur (coût, préférences) et enfin, concernant la requête elle-même et son allocation si les fournisseurs peuvent refuser de traiter la requête et si une fois que celle-ci a été allouée, sont-ils obligés d'y répondre.

Il peut être important pour un fournisseur de garder certaines informations privées afin de ne pas dévoiler sa stratégie aux autres pairs. Typiquement, l'évaluation faite sur la requête n'est pas directement traduite sous la forme de préférences ou de coût. Dans [72, 31], les fournisseurs ont certaines informations connues de tous. Dans le premier, ce sont leurs schémas de bases de données, fournis au médiateur, tandis que dans le second, ils fournissent des informations telles que les profits qu'ils envisagent de faire ou encore la confiance qu'ils ont envers les autres.

Chacun donne tout de même des informations au médiateur. On distingue clairement deux clans, ceux qui fournissent les coûts d'exécution de la requête (les trois premiers mécanismes [72, 21, 59]) et ceux qui fournissent leurs préférences (les deux autres [31, 45]). Les coûts ne traduisent en rien l'intérêt que les fournisseurs portent à la requête. À l'inverse, les préférences permettent d'indiquer l'intérêt des fournisseurs pour la requête. Ici, ces préférences sont traduites sous la forme d'offre monétaire. Plus leur montant est élevé, plus la requête intéresse les fournisseurs.

En ce qui concerne la requête elle-même, les fournisseurs peuvent avoir des obligations à remplir. Tout d'abord lorsque l'appel à propositions est lancé, on s'intéresse à la possibilité qu'ils ont de décliner l'offre. Seuls deux mécanismes [72, 31] indiquent clairement cette possibilité : le fournisseur est alors libre de choisir lui-même si la requête l'intéresse. Cela peut tout de même entraîner un problème lorsque tous les fournisseurs refusent l'appel d'offre. Enfin, on constate que dans la plateforme Mariposa [72], même une fois la requête attribuée à un pair, celui-ci a encore la possibilité de refuser de la faire, entraînant automatiquement un défaut de réponse auprès de l'initiateur. Les mécanismes [59, 31] obligent les pairs à assurer le travail pour lequel ils s'étaient engagés. Les deux autres mécanismes ne se prononcent pas sur la question.

	Informations privées non accessibles aux autres pairs	**Expression de l'avis du pair sur la requête via**	**Il peut refuser la requête lorsqu'elle lui est proposée**	**Il doit traiter la requête une fois allouée**
Plateforme Mariposa [71, 72]	-	coût	×	-
Conception de mécanisme basé sur la confiance [21]	×	coût		
Conception de mécanisme dans un contexte incertain [59]	×	coût		×
Modèle agents basé sur la confiance [31]	-	préférences	×	×
Mécanisme de vente aux enchères permettant des revenus et une efficacité optimaux [45]	×	préférences		

Légende

case "×"	case "-"	case vide
le mécanisme remplit la condition	il ne remplit pas la condition	aucune information disponible

Table 1.8 – Caractéristiques des fournisseurs

1.5 Conclusion

Nous avons commencé ce chapitre en introduisant les mécanismes d'allocation de requêtes mettant en œuvre des médiateurs, des initiateurs de requêtes et des fournisseurs d'information. Ces mécanismes ont un fonctionnement plutôt simple, mettant en relation les initiateurs et les fournisseurs par l'intermédiaire d'un médiateur. Les sélections sont réalisées sur la correspondance entre les capacités des fournisseurs et les requêtes des initiateurs.

Ensuite, nous nous sommes intéressés aux mécanismes où des échanges monétaires ont lieu, vu que les médiations auxquelles nous souhaitons nous intéresser, employent le critère de l'offre pour réaliser la sélection des fournisseurs. Avant de présenter les mécanismes économiques de médiation existants, nous avons exposé la théorie de la microéconomie. Nous nous sommes particulièrement focalisés sur la conception de mécanismes qui est la base de la mise en place de mécanismes en microéconomie et donc des processus de médiation qui nous intéressent. Cet aspect économique nous permet par la suite de vérifier de manière théorique, les propriétés économiques que les processus étudiés peuvent avoir, propriétés définies en microéconomie. Les principaux mécanismes économiques auxquels nous nous sommes intéressés sont les ventes aux enchères et un mécanisme d'imposition des requêtes aux fournisseurs dans le cas où aucun ne veut les réaliser.

De plus, des mécanismes mettant en œuvre la confiance sont présentés dans ce chapitre. Ils sont divisés en deux catégories, à savoir ceux pour la sécurité des systèmes et ceux au sujet de la réputation. Ce sont particulièrement ces derniers que nous avons retenus. Dans le cadre des médiations, la réputation des pairs avec qui un pair travaille est très importante car elle lui assure une certaine garantie sur les résultats qu'il peut compter obtenir.

Enfin, nous avons retenu cinq travaux pour leur pertinence vis-à-vis du problème qui nous intéresse, à savoir, prendre en compte à la fois le point de vue des initiateurs et des fournisseurs. Après avoir présenté le fonctionnement des différents travaux, nous les avons comparés dans le but d'étudier ce qui se fait déjà dans le cadre de la combinaison des offres/coût et de la confiance. Cette comparaison nous a montré que même si ces mécanismes essaient d'apporter une notion de confiance à la sélection, tous ne remplissent pas les critères qui nous intéressent comme par exemple, permettre à l'initiateur d'être assuré d'obtenir le nombre de réponses qu'il a demandé, lui permettre de fournir son avis sur les fournisseurs et/ou réponses qui lui ont été proposés, etc.

Nous pouvons conclure ici que de nombreuses approches existent sur le problème de médiation qui nous intéresse mais que toutes ces approches ne sont pas forcément abouties. Celles qui sont plus poussées ne remplissent pas tous les critères que nous souhaitons prendre en compte pour résoudre notre problème. Dans le chapitre suivant, nous présentons une modélisation des systèmes de médiateurs de requêtes, permettant la mise en place des processus de médiation que nous allons étudier.

CHAPITRE 2

Représentation des systèmes à médiateurs de requêtes

Après avoir étudié les différents travaux traitant des processus de médiation, nous nous focalisons sur les **systèmes à médiateurs de requêtes**. Ils peuvent intégrer différents mécanismes de médiation, dont le fonctionnement peut être varié comme nous avons pu le constater dans le chapitre précédent. Les médiateurs emploient des méthodes de sélection qui sont propres aux mécanismes qu'ils utilisent. Pour cette raison, nous formalisons ces systèmes dans le but de pouvoir les étudier à plusieurs niveaux sur des critères identiques par la suite : méthodes de sélection et de facturation, zones d'influence d'un mécanisme, propriétés économiques et sociales...

Nous décrivons dans ce chapitre les différents éléments utiles à la modélisation des systèmes à médiateurs de requêtes :

- les acteurs du système,
- ses composants,
- l'organisation d'un processus dans le système selon des sphères d'influence,
- leur placement dans l'organisation du système,
- l'utilité des différents acteurs.

2.1 Organisation d'un système à médiateurs de requêtes

Nous distinguons trois rôles principaux : initiateur de requêtes, fournisseur d'informations et médiateur (ce rôle pourra aussi être nommé intermédiaire). On note qu'un pair peut occuper simultanément, dans le système, chacun de ces trois rôles.

Un pair ayant le rôle d'**initiateur** envoie des requêtes à des médiateurs du système afin que ceux-ci lui adressent des fournisseurs pour y répondre. Un pair occupant ce rôle sera noté us. Une **requête** req envoyée par un initiateur est constituée de plusieurs éléments représentés sous la forme d'un quadruplet $(< co, us, t, n >)$ où :

- co représente l'énoncé de la requête à laquelle l'initiateur désire des réponses. Nous ne préjugeons pas ici d'un langage particulier pour décrire le contenu de la requête. L'ensemble des contenus des requêtes est noté $\mathcal{C}o$.
- us indique le nom du pair initiateur qui a envoyé la requête. L'ensemble des pairs jouant le rôle d'initiateur de requêtes est noté $\mathcal{U}s$.

- t correspond au type de la requête. Il permet aux médiateurs de classer et traiter plus facilement le contenu de la requête sans chercher à l'interpréter. On note $\mathcal{T}$ l'ensemble des types de requêtes.
- n est le nombre de pairs que l'initiateur souhaite obtenir de la part du médiateur. C'est un entier positif non nul ou égal à l'infini ($+\infty$) dans le cas où l'initiateur désire obtenir tous les pairs capables de traiter la requête.

Lorsque les différents constituants de la requête ne seront pas utiles à la compréhension du texte, nous utilisons la notation simplifiée, req, pour désigner une requête. Nous notons $\mathcal{R}eq$ l'ensemble des requêtes tel que $\mathcal{R}eq \subseteq \mathcal{C}o \times \mathcal{U}s \times \mathcal{T} \times \mathbb{N}$.

L'initiateur peut interroger directement des fournisseurs qu'il a connus lors de transactions précédentes ou qu'il choisit aléatoirement (après avoir demandé leurs noms à un service style pages jaunes). Dans ce dernier cas, il n'a aucune garantie sur le résultat qu'il va obtenir. Afin de s'assurer d'avoir une **qualité** correcte au niveau des réponses, l'initiateur a la possibilité de s'adresser à des pairs jouant le rôle de médiateur. Il les choisit selon la connaissance qu'il a d'eux, selon la spécialité de chacun ou encore selon le mécanisme de sélection employé. En utilisant cette méthode, l'initiateur peut obtenir un ensemble plus vaste de réponses et très certainement de meilleure qualité car les différents médiateurs utilisés vont s'appliquer à filtrer les réponses selon leur mécanisme de sélection. De plus, au fur et à mesure que l'initiateur réalise des transactions avec les différents pairs (médiateurs ou fournisseurs d'informations), il peut se forger une opinion sur chacun d'eux et affiner ses choix de partenariats, autant au niveau des fournisseurs d'informations que des médiateurs.

Un pair ayant le rôle de **fournisseur d'informations** (*provider*), noté p, possède des capacités concernant les informations pour lesquelles il est apte à répondre. Il s'abonne auprès de médiateurs en leur déclarant ses **capacités** afin que ces derniers lui fournissent des requêtes en relation avec elles. De plus, il possède des **préférences** sur les informations qu'il souhaite et peut fournir. Par exemple, si le fournisseur représente une agence de voyage faisant actuellement une promo pour un voyage donné, le pair préfère fournir les informations relatives à ce voyage plutôt que pour tout autre voyage. Ainsi, il choisit de traiter certaines requêtes plutôt que d'autres : ce sont ses attentes. Le fournisseur a une **capacité de traitement** maximale : il ne peut pas absorber plus d'une certaine quantité de travail au niveau des requêtes. Sinon, il devient surchargé et cela a pour conséquence d'augmenter le temps de traitement des requêtes. Le pair s'attache à obtenir des médiateurs un maximum de requêtes dans la limite de sa capacité de travail et en essayant que ces requêtes correspondent au mieux à ses attentes. Il peut aussi être contacté directement par un pair jouant le rôle d'initiateur afin de réaliser des transactions extérieures à un mécanisme utilisant un médiateur. L'ensemble des pairs jouant le rôle de fournisseur d'informations est noté $\mathcal{P}$.

Pour parler du dernier rôle que peut avoir un pair, nous utilisons le terme de **médiateur** (ou **pair intermédiaire**). Un médiateur sert de liaison entre les initiateurs cherchant des réponses et les fournisseurs capables de leur répondre : il utilise un **processus de médiation** afin de résoudre ce problème. Il envoie à l'initiateur l'ensemble des fournisseurs qu'il a retenu selon la méthode de sélection qu'il applique. Nous supposons que chaque médiateur n'utilise qu'un seul type de mécanisme à la fois. Mais, plusieurs types de mécanismes peuvent cohabiter dans le système (figure 2.1) : des mécanismes économiques tels que les ventes aux enchères (section 1.2.6.1) ou des mécanismes non économiques comme le Contract Net Protocol (section 1.1.3). L'ensemble des pairs jouant le rôle de médiateurs est noté $\mathcal{M}$.

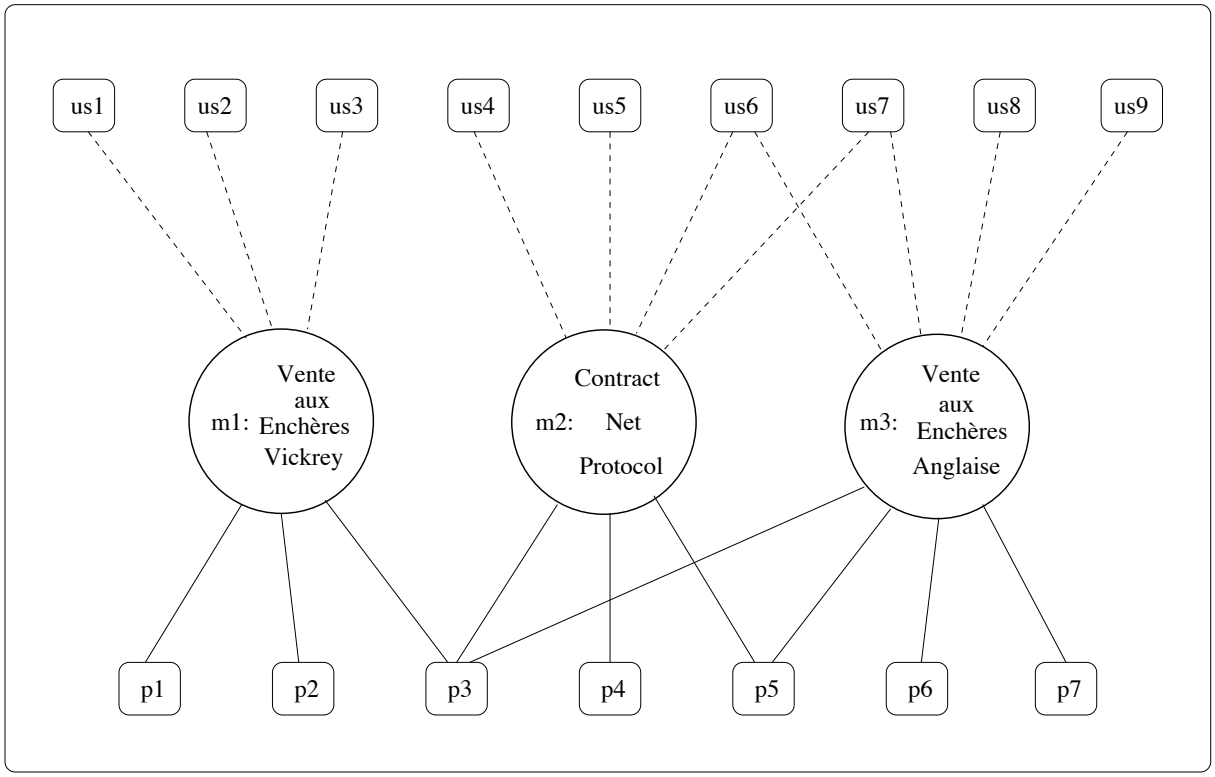
Chaque pair ayant choisi un des rôles d'initiateur ou de fournisseur peut ainsi participer à un mécanisme de médiation (ou plusieurs) en fonction de ses besoins. Il n'y a pas de limite concernant le nombre de mécanismes auxquels un pair peut participer d'autant plus que ces mécanismes sont assez diversifiés.

Un pair peut occuper simultanément les trois rôles que nous venons de présenter, à savoir initiateur, fournisseur et médiateur. Cela implique que les ensembles $\mathcal{U}s$, $\mathcal{M}$ et $\mathcal{P}$ associés à ces rôles ne sont pas nécessairement disjoints.

2.1.1 Les constituants du système

Nous nous intéressons maintenant aux détails du système et de ses constituants. Le système est composé de plusieurs éléments que nous allons exposer par la suite :

- les acteurs représentés par les pairs dont les rôles viennent d'être définis,
- les relations pouvant exister entre chacun de ces pairs, représentées par des liens existants entre eux,
- les monnaies (utilisées dans des mécanismes d'origine économique)
- et la relation d'association entre les pairs et les monnaies.



Légende : p_i : fournisseur i / us_j : initiateur j / m_k : médiateur k
- - - : lien initiateur– médiateur / — : lien fournisseur – médiateur

Figure 2.1 – Le système

L'ensemble des pairs, noté $\mathcal{P}e$, regroupe tous les pairs du système. Comme un pair peut occuper plusieurs rôles, nous utilisons des unions dans la définition suivante :

Définition 2.1. *:* **Ensemble des pairs** $\mathcal{P}e$
L'ensemble des pairs $\mathcal{P}e$ du système est défini par :

$$\mathcal{P}e = \mathcal{P} \cup \mathcal{U}s \cup \mathcal{M}$$

avec $\mathcal{P}$ *l'ensemble des pairs ayant le rôle de fournisseur d'informations,*
$\mathcal{U}s$ *l'ensemble des pairs ayant le rôle d'initiateur,*
$\mathcal{M}$ *l'ensemble des pairs ayant le rôle de médiateur.*

La figure 2.1 illustre la présence de ces différents pairs. Les médiateurs m_k sont représentés avec le nom du mécanisme qu'ils implémentent pour assurer la médiation. Les initiateurs us_j et les fournisseurs p_i sont reliés à un ou plusieurs médiateurs, ces derniers ayant pour but de satisfaire leurs attentes. Par exemple, us_6 est rattaché au médiateur m_2 implémentant le Contract Net Protocol et à m_3 qui utilise un processus de vente aux enchères anglaise. Le pair p_3 peut recevoir des requêtes de m_1, m_2 et m_3. Les pairs us_6 et p_3 peuvent trouver une certaine satisfaction à contacter plusieurs médiateurs car le mode de fonctionnement de chacun peut avoir certains avantages selon les attentes des deux pairs ou encore, les médiateurs peuvent ne pas avoir les mêmes spécificités.

Lors de l'abonnement d'un fournisseur auprès d'un médiateur ou de l'envoi d'une requête par un initiateur à un médiateur, une relation se crée entre ces différents pairs. On désigne ces relations sous le terme de **liens**. Il est important de connaître les liens existants entre les différents pairs afin de savoir qui intéragit avec qui car vu le nombre de pairs présents dans le système, il est inconcevable que tous puissent se connaître. Pour désigner l'ensemble des pairs qu'un pair connaît, on parle d'**accointances**. Ainsi, lorsqu'un lien existe entre deux pairs, chacun de ces pairs est dans la liste d'accointance de l'autre. L'ensemble des liens (noté $\mathcal{L}$) va correspondre aux interactions pouvant apparaître entre tous les pairs.

Définition 2.2. *:* **Ensemble des liens** $\mathcal{L}$
L'ensemble des liens existants $\mathcal{L}$ *correspond à toutes les relations existantes entre les pairs.*

$$\mathcal{L} \subseteq \mathcal{P}e \times \mathcal{P}e$$

Un fournisseur p qui s'abonne auprès d'un médiateur m est un exemple de création d'un lien entre p et m. Un lien peut être créé ou cassé entre deux pairs dans le cadre d'une création ou d'une rupture de relations. Si l'on se trouve dans une de ces deux situations, l'ensemble des liens $\mathcal{L}$ est modifié. Nous considérons être en présence d'un nouvel ensemble $\mathcal{L}$' correspondant au nouvel ensemble de liens relatif au système auquel le lien concerné aura été ajouté ou supprimé selon l'action réalisée. Tous les liens appartenant à $\mathcal{L}$ existent mais certains peuvent être inactifs, à savoir qu'il peut ne pas y avoir d'actions entre deux pairs depuis un certain temps. Dans ce cas, l'ensemble $\mathcal{L}$ reste inchangé et le lien existe toujours. De plus, l'ensemble $\mathcal{L}$ ne possède pas la propriété de commutativité. Ainsi, si le couple $(pe_j\ ,\ pe_i) \in \mathcal{L}$, cela indique que pe_j est en relation avec pe_i et que le premier intéragit avec le second, la réciproque n'est pas vraie. Cela implique que le couple (pe_i,pe_j) n'appartient pas obligatoirement à $\mathcal{L}$.

Comme nous avons pu le voir lors de la présentation du système, différents types de mécanismes peuvent cohabiter dans celui-ci. Il existe deux types principaux de mécanismes : les mécanismes non économiques tels que le Contract Net Protocol et les mécanismes économiques tels que les ventes aux enchères. Nous nous focalisons ici plus particulièrement sur les mécanismes économiques à médiateur de requêtes. Ainsi, le constituant indispensable aux mécanismes économiques est l'argent. L'ensemble des **monnaies** ayant cours dans le système est noté $\mathcal{C}$. À partir de maintenant, lorsque l'on parlera de mécanisme, celui-ci est nécessairement économique et lié à une monnaie unique. Ainsi, si on s'intéresse à une vente aux enchères Vickrey et à une vente aux enchères anglaise, chacune a sa propre monnaie.

Définition 2.3. *:* **Ensemble des monnaies** $\mathcal{C}$
L'ensemble $\mathcal{C}$ *des monnaies existantes et disponibles dans le système correspond à :*

$$\mathcal{C}= \{c_i \mid c_i \textit{ est la monnaie unique d'un médiateur } m_i,\ m_i \in \mathcal{M}\}$$

Maintenant que nous avons vu les monnaies existantes dans le système, nous allons associer ces monnaies aux (rôles des) pairs qui les manipulent. Nous définissons la **relation d'association** $\mathcal{A}$ permettant d'établir la correspondance entre l'ensemble des pairs $\mathcal{P}e$ et l'ensemble des monnaies $\mathcal{C}$. De cette manière, pour chaque monnaie $c \in \mathcal{C}$, on sait si un pair pe en a connaissance et l'utilise. De plus, nous posons comme hypothèse que tous les mécanismes présentés sont totalement autonomes et indépendants les uns des autres (*stand alone mecanisms*). C'est cette hypothèse qui nous permet de dire qu'une monnaie c_i est unique à un mécanisme économique. À partir de la relation d'association, nous pouvons déterminer l'appartenance ou non d'un pair à un mécanisme économique.

Définition 2.4. *:* **Relation d'association** $\mathcal{A}$
La relation d'association $\mathcal{A}$ définit les liens entre les pairs et les monnaies du système :

$$\mathcal{A} \subseteq (\mathcal{P} \times \mathcal{C}) \cup (\mathcal{U}s \times \mathcal{C}) \cup (\mathcal{M} \times \mathcal{C})$$

Si le pair pe utilise la monnaie c, on indique que le couple $(pe\ ,\ c) \in \mathcal{A}$. Nous avons défini la relation d'association selon les rôles des pairs car un pair peut appartenir à un même processus de médiation en ayant plusieurs rôles. Par exemple, il peut être à la fois initiateur et fournisseur. Par contre, il n'est pas possible qu'un pair jouant le rôle de médiateur soit fournisseur ou initiateur dans son propre processus. La condition posée sur le fait qu'un médiateur ne puisse utiliser qu'un seul mécanisme à la fois impose qu'il n'existe qu'un seul couple où un médiateur m apparaît pour une monnaie c donnée.

Proposition 2.1. *Soit un médiateur $m \in \mathcal{P}e$. La condition obligeant m à n'utiliser qu'un seul mécanisme est traduite par :*

$$\exists\,!\,(m,\ c_i) \in \mathcal{A} \textit{ avec } c_i \in \mathcal{C}$$

Les composants du système ayant été décrits, nous proposons la représentation du **système** $\mathcal{S}$, qui est la suivante :

Définition 2.5. *:* **Le système** $\mathcal{S}$
Le système $\mathcal{S}$ est composé des éléments suivants :

$$\mathcal{S}=< \mathcal{P}e, \mathcal{L}, \mathcal{C}, \mathcal{A}>$$

avec
- *$\mathcal{P}e$ l'ensemble des pairs,*
- *$\mathcal{L}$ l'ensemble des liens entre les pairs,*
- *$\mathcal{C}$ l'ensemble des monnaies existantes et*
- *$\mathcal{A}$ la relation d'association entre les pairs et les monnaies.*

Nous nous intéressons maintenant à ce qui se passe réellement dans un mécanisme lorsque le médiateur reçoit une requête en définissant un processus de médiation.

2.1.2 Définition d'un processus de médiation

Pour une requête donnée, un **processus de médiation** est constitué de deux étapes :
- l'allocation de la requête aux fournisseurs,
- leur facturation.

L'**allocation** est établie sur la base d'un ou plusieurs critères comme par exemple, l'offre faite par le fournisseur, le coût d'exécution de la requête, la qualité de la réponse que le fournisseur peut fournir... Le processus établit ensuite la **facturation** liée à cette allocation, indiquant combien les différents pairs doivent payer.

Un pair intermédiaire m a un ensemble $\mathcal{P}_m$ ($\subseteq \mathcal{P}$) de fournisseurs abonnés auprès de lui, c'est-à-dire ayant un lien avec lui ((p_i, m) $\in \mathcal{L}$). Il doit choisir les fournisseurs qu'il va proposer en réponse à la requête d'un initiateur parmi cet ensemble $\mathcal{P}_m$. Cependant, dans cet ensemble $\mathcal{P}_m$, tous les fournisseurs ne sont pas aptes à répondre à tous les types de requêtes car leurs capacités ne leur permettent pas. Le pair n'interroge que l'ensemble des fournisseurs capables de réaliser la requête req. Cet ensemble est noté $\mathcal{P}_m^{req}$ ($\subseteq \mathcal{P}_m$). Pour réaliser cette présélection, le médiateur peut utiliser des techniques de matchmaking. De plus, nous posons comme hypothèse que les pairs appartenant à $\mathcal{P}_m \setminus \mathcal{P}_m^{req}$ doivent tout de même apparaître dans le résultat du processus dans le but que l'étude d'un processus se fasse dans un contexte où l'on ne considère aucun départ et aucune arrivée de pairs. Le médiateur détermine pour ces pairs une allocation et une facturation nulles.

Nous introduisons maintenant la définition formelle d'un processus de médiation sachant que le résultat fourni par le processus ne dépend pas uniquement de la requête sur laquelle il est appliqué. En effet, selon le contexte du système au moment où la requête est posée, l'allocation et la facturation peuvent être différentes. Par exemple, à un moment X, le médiateur alloue selon ses critères de sélection la requête au fournisseur p. À un moment Y, le médiateur propose une requête similaire (même contenu, initiateur, type et nombre de fournisseurs demandés) mais cette fois-ci, ce même fournisseur est en panne ou surchargé, ce qui entraîne sa non sélection par le médiateur et par conséquent la sélection d'un autre fournisseur. Pour deux requêtes similaires, la sélection est différente à cause de l'environnement actuel. Pour pallier à ce problème et pour obtenir un résultat unique à la médiation d'une requête, nous introduisons le paramètre $context$ dans la définition d'un processus de médiation. Ce paramètre regroupe tous les éléments pouvant influencer le processus de médiation, que nous définissons de la manière suivante :

Définition 2.6. *:* **Un processus de médiation**
Soit une requête $req \in \mathcal{R}eq$ posée à un instant donné (avec n le nombre de fournisseurs demandés), un médiateur m. Un processus de médiation $PMed$ est une application qui détermine l'allocation et la facturation pour les participants $\mathcal{P}_m$.

$$PMed: \ req \times context \times \mathcal{P}_m \ \mapsto (\vec{alloc}_{req}\ , \vec{bill}_{req})$$

avec $\forall i \in [1..|\mathcal{P}_m|\,]$,

$$\vec{alloc}_{req}[i] = \left| \begin{array}{ll} 1 & \textit{si le pair } p_i \textit{ appartient à } \mathcal{P}_m^{req} \textit{ et est sélectionné} \\ 0 & \textit{si le pair } p_i \textit{ appartient à } \mathcal{P}_m^{req} \textit{ et n'est pas sélectionné} \\ & \textit{ou le pair } p_i \textit{ appartient à } \mathcal{P}_m \setminus \mathcal{P}_m^{req} \end{array} \right| \textit{avec } \sum_{i=1}^{|\mathcal{P}_m|} \vec{alloc}_{req}[i] \leq n$$

et $\vec{bill}_{req}[i] = x$ *tel que* x ($\in \mathbb{R}$) *est le montant de la facture du pair* p_i

Le processus de médiation calcule le résultat de la médiation, représenté sous la forme de deux vecteurs : le vecteur d'allocation $\vec{alloc}$ et le vecteur de facturation $\vec{bill}$. Ces deux vecteurs contiennent les informations relatives à tous les fournisseurs capables ou non de réaliser la requête. L'ensemble des fournisseurs ayant obtenu la requête (c'est-à-dire tel que $\vec{alloc}_{req}[i] = 1$) est noté $\widehat{\mathcal{P}_m^{req}}$. Le résultat ($\vec{alloc}_{req}$,$\vec{bill}_{req}$) d'une médiation est aussi noté Med_{req}. Ces deux notations seront utilisées indifféremment par la suite.

Pour la suite de la discussion, nous souhaitons étudier le comportement de processus de médiation sur le long terme. Nous avons besoin de définir à quoi correspond une **séquence de médiations** relative à un

processus de médiation. Lorsque nous parlons de requêtes consécutives, nous désignons une succession de requêtes selon l'ordre de traitement réalisé au niveau du médiateur.

Notation 2.1. : Séquence de médiations relative à un processus de médiation $PMed$
Soit un médiateur m mettant en œuvre un processus de médiation $PMed$ auquel $|\mathcal{P}_m|$ pairs participent, $Q = (req_i, \ldots, req_{i+l})$ une séquence de l requêtes consécutives ($l > 0$ et $req_j \in \mathcal{R}eq$). La séquence de médiations $\mathcal{MED}_m^Q$ est notée (Med_{req_i},...,$Med_{req_{i+l}}$).

Nous avons aussi besoin de savoir comment un pair est affecté par le processus de médiation en tant qu'individu. Pour cette raison, nous définissons ce que représente une séquence de médiations pour un pair lorsqu'il est capable de réaliser la requête. En effet, lorsqu'il ne sait pas réaliser la requête, son évaluation, son allocation et sa facturation sont nulles : elles ne lui apportent aucun renseignement utile. Le pair n'a donc pas d'intérêt à sauvegarder ces informations, sauf pour savoir que le médiateur lui a proposé une requête qu'il ne pouvait pas faire (cette information peut être stockée dans une variable lui permettant d'évaluer le nombre de requêtes proposées qu'il n'a pas su faire). Au niveau d'un pair, deux types de séquences peuvent exister : les **séquences de médiations compatibles** avec ses capacités et les **séquences de médiations utiles** pour ce pair. La première correspond à des médiations de requêtes que le pair est capable de traiter et la seconde correspond à des médiations ayant un réel impact sur lui au niveau de son utilité.

Définition 2.7. : Séquence de médiations compatibles avec un pair pe
Soit pe un pair, $Q = (req_i, \ldots, req_{i+l})$ une séquence de l requêtes consécutives ($l > 0$ et $req_j \in \mathcal{R}eq$). Une séquence de médiations compatibles avec le pair pe, notée $\mathcal{MED}_{pe}$ est un k-uplet composé de Med_{req_j} tel que :

$$(Med_{req_j} \mid j \in [i, i+l] \wedge pe \in \mathcal{P}_m^{req_j})$$

Définition 2.8. : Séquence de médiations utiles d'un pair
Soit pe un pair, $Q = (req_i, \ldots, req_{i+l})$ une séquence de l requêtes consécutives ($l > 0$ et $req_j \in \mathcal{R}eq$). La séquence de médiations utiles du pair pe, notée $\mathcal{MED}_{pe}^u$ est un k-uplet composé de ($\vec{alloc}_{req_j}$,$\vec{bill}_{req_j}$) tel que :

$$((\vec{alloc}_{req_j}, \vec{bill}_{req_j}) | j \in [i, i+l] \ \wedge (pe \in \widehat{\mathcal{P}_m^{req_j}} \vee \vec{bill}_{req_j}[pe] \neq 0))$$

Après la présentation des différents constituants du système et de la définition d'un processus de médiation, nous allons étudier plus en détail le rôle joué par les monnaies dans l'organisation du système et comment elles influencent les relations pouvant exister. Nous cherchons à déterminer quel impact la monnaie en vigueur dans un mécanisme, a sur les pairs du système.

2.1.3 Définition des zones d'influence d'une monnaie

Chaque mécanisme économique utilise une monnaie c_i qui lui est unique. Par rapport à cette monnaie, différents évènements se déroulent et entraînent d'autres évènements. Les évènements initiaux sont issus de l'action de la monnaie. Celle-ci a ensuite une influence plus ou moins forte sur un certain nombre d'éléments du système dont plus particulièrement les pairs. Ainsi, des ensembles de pairs vont ressentir

les mêmes conséquences à des degrés différents, d'où l'idée de regrouper ces ensembles sous forme de **sphères**. La figure 2.2 illustre l'organisation générale liée à une monnaie c quelconque dans laquelle trois types de sphères sont définis : **sphère économique**, **sphère d'influence directe** et **sphère d'influence**. Le fait que nous ne nous limitons qu'aux mécanismes économiques n'implique pas que seuls les aspects économiques soient pris en compte. En effet, des aspects non économiques apparaissent également à partir de l'influence de la monnaie. C'est pour cette raison que les sphères d'influence directe et d'influence existent au même titre que la sphère économique : les pairs appartenant à ces deux sphères sont aussi sous l'influence de la monnaie mais pas uniquement sous son influence. Voici une définition intuitive (développée par la suite) de l'appartenance des pairs aux différentes sphères afin de situer précisément l'organisation des sphères : dans la sphère économique, on ne trouve que les pairs utilisant directement la monnaie c de ce mécanisme ; les pairs membres de la sphère d'influence directe ont des relations directes avec les pairs de la sphère économique mais ne font pas partie de cette dernière ; et enfin, la sphère d'influence correspond à des relations encore moins directes avec les membres de la sphère économique.

Dans les définitions suivantes, on considère un système $\mathcal{S}$ tel que présenté dans la définition 2.5, à savoir $< \mathcal{P}e, \mathcal{L}, \mathcal{C}, \mathcal{A} >$. Pour étudier les différentes sphères énoncées, nous n'utilisons qu'un seul mécanisme économique vu que les trois types de sphères sont liées à un mécanisme donné.

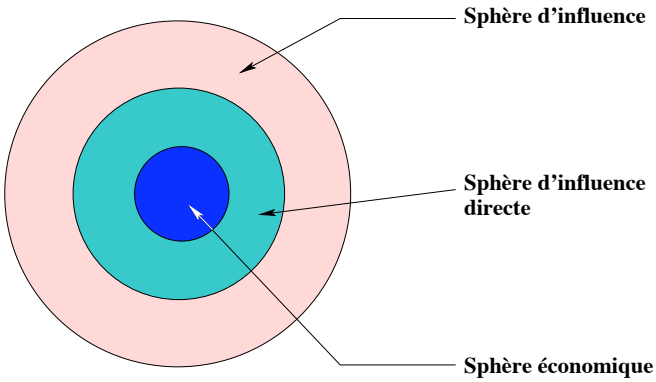


Figure 2.2 – Zones d'influence d'une monnaie

2.1.3.1 La sphère économique d'une monnaie

La sphère économique utilise la monnaie c , celle-ci n'est utilisée que dans le mécanisme économique mis en œuvre. Cette monnaie ne pourra pas être employée dans un autre mécanisme ou pour tout autre chose extérieure à cette sphère. Elle est mise en circulation par un médiateur m qui appartient donc à la sphère économique et qui en est à l'origine. Ce pair joue le rôle de banque localement à cette sphère.

La figure 2.2 permet de constater que la sphère économique est centrale aux autres. Le médiateur m appartenant à la sphère économique utilise la monnaie de celle-ci et uniquement celle-ci ($(m, c) \in \mathcal{A}$). Les pairs appartenant à la sphère économique sont connus grâce à la définition de celle-ci :

Définition 2.9. *:* **Sphère économique**
Soit la monnaie c, la sphère économique notée Se_c est définie par :

$$Se_c = \{pe \mid pe \in \mathcal{P}e \wedge (pe,\ c) \in \mathcal{A}\}$$

2.1.3.2 La sphère d'influence directe d'une monnaie

Certains pairs de la sphère d'influence directe peuvent ne pas connaître l'existence de la sphère économique même si cette dernière est totalement contenue dans la sphère d'influence directe. En effet, ces pairs entretiennent des relations directes et réelles avec les pairs appartenant à Se_c tout en n'ayant pas connaissance de l'existence de la monnaie de cette sphère. Ils se retrouvent sous l'influence de la monnaie c et du mécanisme sans y participer directement. Les membres de la sphère d'influence directe entretiennent aussi des liaisons entre eux, totalement indépendantes des aspects économiques entrainés par la monnaie et la sphère économique. On constate également que les pairs appartenant à la sphère économique font aussi partie de la sphère d'influence directe.

Définition 2.10. *:* **Sphère d'influence directe**
Soit la monnaie c, la sphère d'influence directe notée Si_c est définie par :

$$Si_c = \{pe \mid pe \in \mathcal{P}e \wedge (\exists\, pe',\ pe' \in Se_c \wedge\ (pe',\ pe)\ \in\ \mathcal{L})\}$$

2.1.3.3 La sphère d'influence d'une monnaie

Tous les pairs du système ne sont pas en relation directe avec des pairs appartenant à la Se_c. Mais, certains sont tout de même affectés par le mécanisme économique et sa monnaie à un degré plus ou moins élevé. Les résultats qui découlent du mécanisme économique vont tout de même jouer sur leur comportement. Il est donc important de les inclure dans une sphère (autre que les deux autres présentées précédemment), elle porte le nom de sphère d'influence.

Prenons par exemple deux médiateurs m_1 et m_2. Un fournisseur d'informations est abonné auprès de ces deux médiateurs. S'il est très satisfait de m_1, il peut décider de se désabonner du médiateur m_2 car celui-ci le satisfait sans plus. Ce dernier se retrouve alors affecté indirectement par la sphère économique du médiateur m_1 car il a perdu un client. Le médiateur m_2 appartenait à la sphère d'influence.

Définition 2.11. *:* **Sphère d'influence**
Soit la monnaie c, la sphère d'influence notée Si_c^* est définie par :

$$Si_c^* = \ \{pe \mid (pe\ \in Si_c\ ) \vee (\exists\, pe'\ , pe' \in Si_c^*\ tel\ que\ (pe',\ pe)\ \in\ \mathcal{L})\}$$

2.1.4 Appartenance des pairs aux différentes zones d'influence

L'organisation du système en sphères a pour but de nous faciliter l'étude des propriétés que nous envisageons par la suite. Tous les pairs appartiennent clairement à une sphère en particulier sauf le fournisseur d'informations. En effet, ce pair possède un aspect économique via sa participation au processus de médiation et un aspect plus basé sur le social afin d'évaluer les résultats qui l'intéressent. Dans le but de séparer ces deux parties dans notre étude, nous avons décidé d'insérer un nouveau rôle de pair : le **représentant du fournisseur**. Il ne possède pas le même statut que les rôles que nous avons déjà explicités. En effet, il a pour but de représentater son fournisseur auprès du médiateur permettant ainsi de gérer le côté économique du fournisseur.

Le rôle de représentant, noté r, n'est pas un rôle qu'un pair peut occuper comme les autres déjà présentés. L'existence d'un représentant correspond plus à la création d'un nouveau pair dans l'environnement très proche d'un médiateur lors de l'abonnement d'un fournisseur. Ce nouveau pair ne peut avoir pour seule fonction d'être le représentant de son fournisseur, il n'a pas la possibilité d'incarner d'autres rôles.

Ayant pour but de représenter son fournisseur, ce dernier lui envoie l'ensemble des informations utiles afin que r gère ses intérêts : types de requêtes qui l'intéressent, charge actuelle, charge maximale... Le but du représentant est de satisfaire son fournisseur en respectant au maximum les recommandations que celui-ci lui a adressé. De plus, il dispose d'un solde monétaire afin de tenter d'obtenir les requêtes. Selon les mécanismes, ce **solde monétaire** est obtenu de différentes façons : soit par un apport personnel du fournisseur, soit remis par le médiateur lors de l'abonnement du fournisseur. Lorsque le pair intermédiaire envoie une requête à évaluer au représentant, celui-ci fait une offre en fonction des informations de son fournisseur, essayant de gérer au mieux son argent pour la suite. Au terme du processus de médiation, il reçoit une facture correspondant à ce que la requête lui a coûté.

L'ensemble des représentants est noté $\mathcal{R}$. Nous ajoutons ce nouveau type de pair à l'ensemble des pairs $\mathcal{P}e$.

Définition 2.12. *:* **Ensemble des pairs étendu** $\mathcal{P}e$
L'ensemble des pairs $\mathcal{P}e$ du système est défini par :

$$\mathcal{P}e = \mathcal{P} \cup \mathcal{U}s \cup \mathcal{M} \cup \mathcal{R}$$

avec
- $\mathcal{P}$ *l'ensemble des pairs ayant le rôle de fournisseur d'informations,*
- $\mathcal{U}s$ *l'ensemble des pairs ayant le rôle d'initiateur de requêtes,*
- $\mathcal{M}$ *l'ensemble des pairs ayant le rôle de médiateur et*
- $\mathcal{R}$ *l'ensemble des pairs ayant le rôle de représentant d'un fournisseur*

L'ajout du rôle de représentant entraîne également l'ajout de nouveaux liens dans $\mathcal{L}$. Pour un représentant r du fournisseur p dans le cadre du mécanisme géré par m, on augmente l'ensemble $\mathcal{L}$ par les liens (r, p), (p, r), (r, m), (m, r).

Maintenant que nous avons symbolisé l'ensemble des pairs du système, nous pouvons les situer dans les différentes sphères définies dans la section 2.1.3 comme l'illustre la figure 2.3. Nous considérons que la monnaie utilisée dans le mécanisme économique étudié ici, est la monnaie c.

- Les pairs appartenant à la sphère économique Se_c sont ceux qui manipulent la monnaie c, à savoir le médiateur m qui joue le rôle de banque et les représentants r_i des fournisseurs qui obtiennent de l'argent de la part du médiateur. L'ensemble des représentants liés à ce médiateur m est noté $\mathcal{R}_m$.
- Ensuite, dans la sphère d'influence directe, se trouvent les initiateurs et les fournisseurs d'informations. Ce sont les pairs directement liés au mécanisme économique sans utiliser la monnaie c et qui sont en lien avec un pair appartenant à la sphère économique. Nous constatons bien la différenciation faite entre le fournisseur et son représentant au niveau de l'appartenance aux sphères.
- Enfin, les pairs appartenant à la sphère d'influence n'apparaissent pas sur la figure 2.3. En effet, cet ensemble est très vaste et, dans le cas où tous les pairs sont interconnectés entre eux, représente le système dans sa globalité.

Par la suite, nous considérons que le système étudié est celui comportant une organisation prenant en compte les représentants des fournisseurs, ceci afin, nous le rappelons de séparer l'aspect économique de l'aspect général de l'étude du rôle de fournisseur.

Maintenant que nous avons étudié le système et ses composants, les acteurs et leurs rôles, nous nous intéressons plus particulièrement à l'utilité des pairs. Comme nous l'avons vu dans l'introduction de la théorie de la microéconomie (section 1.2.3), la satisfaction qu'un pair retire d'un système est un élément très important dans le domaine des mécanismes économiques et sert en partie de base pour déterminer l'intérêt d'un mécanisme.

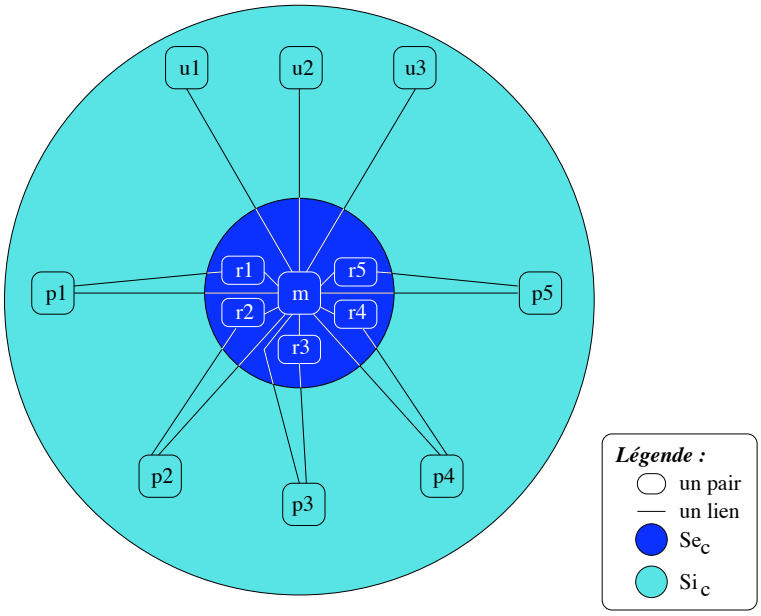


Figure 2.3 – Fonctionnement des sphères

2.2 Les utilités des pairs dans un système à médiateur unique

Les mécanismes économiques auxquels nous nous intéressons nous emmènent dans le domaine de la microéconomie et plus particulièrement de la conception de mécanismes, comme présentée dans la section 1.2.5. Le but d'un pair, introduit en microéconomie, est de chercher à être "au mieux" [19], c'est-à-dire de maximiser son bien-être. Dans le cas des mécanismes économiques que nous étudions, l'argent utilisé est virtuel. Un pair n'aspire donc pas à maximiser son profit mais plutôt sa satisfaction, traduite par son **utilité**. Cependant, l'aspect monétaire intervient tout de même au niveau de ses choix sous la forme d'une contrainte budgétaire limitant les possibilités qui se présentent à lui.

Un pair a des objectifs à accomplir au cours de son existence. Ces buts sont définis en fonction du ou des rôles qui lui ont été attribués. Par exemple, l'objectif d'un fournisseur d'informations est d'obtenir des requêtes correspondant à ses capacités et à ses besoins. Mais la notion de but amène à un effet binaire tel que *j'ai atteint mon but* ou *je ne l'ai pas atteint*. Cette dualité ne traduit pas dans quelle proportion cet objectif a été mené à son terme. Il manque une nuance sur le résultat final. Ainsi, l'utilité permet de quantifier le degré de satisfaction et de performance concernant la réalisation des buts. Nous nous basons sur les définitions présentées dans la section 1.2. Nous pouvons maintenant définir les utilités des pairs. Une fois que ceux-ci ont eu le résultat de la médiation, à savoir quels sont les pairs à avoir obtenu la requête et quelle est leur facturation. Deux genres d'utilité sont à distinguer :

- Utilité (notion générale) : elle est applicable à tous les pairs du mécanisme.
- Utilité d'ordre économique : elle sera plus spécifiquement utilisée pour exprimer la satisfaction des pairs présents dans la sphère économique. L'aspect économique sera inclus dans l'expression de l'utilité.

2.2.1 Utilité du représentant du fournisseur

Comme nous l'avons indiqué dans la section 2.1.4, le représentant se situe dans la sphère économique, son **utilité** doit alors nécessairement traduire l'aspect économique. En effet, lorsqu'une requête est soumise au représentant, celui-ci traduit l'intérêt qu'il lui porte par l'intermédiaire d'une **offre** monétaire. Celle-ci est obtenue à partir des différents éléments présentés dans la suite et que l'on peut retrouver sur la figure 2.4.

Lors de la création d'un représentant, son fournisseur d'informations l'informe de ses préférences initiales sur le type de requêtes qu'il souhaite, la fréquence d'obtention qu'il désire, sa capacité de travail... Les préférences du fournisseur peuvent évoluer au cours du temps selon ses besoins actuels : le représentant adapte alors une nouvelle politique d'interprétation de ces informations et la répercute sur les offres qu'il fera. Ainsi, on les nomme **préférences courantes**. Elles seront notées θ, communément appelé **type** du pair en microéconomie [1].

Le second élément qui peut entrer en ligne de compte dans la manière de calculer l'offre, est la **charge** du fournisseur, notée lo_{req_i}, à l'instant où une requête req_i lui est soumise. En effet, le fournisseur ne peut traiter qu'un certain nombre de données par unité de temps car il est limité par exemple en mémoire, CPU, etc. Ce nombre correspond à sa **capacité de traitement** : une fois qu'il a rempli sa capacité, on dit qu'il est surchargé. Ce critère est donc important car il peut influencer les choix faits par le représentant. Par exemple, son fournisseur peut lui avoir donné pour consigne de ne pas essayer d'obtenir de requêtes quand il est trop chargé ou à l'inverse, de chercher à les traiter si celles-ci sont très intéressantes pour lui, quelque soit le temps qu'il lui faudra pour y répondre. Ces deux types de choix sont des exemples de la politique d'obtention de requêtes que le fournisseur peut indiquer à son représentant. Le fournisseur lui fournit toute information de ce genre afin de gérer au mieux ses intérêts.

Le représentant lui-même dispose d'un critère de charge, en lien plus ou moins direct avec la charge de son fournisseur. C'est ce critère que le représentant va utiliser pour déterminer l'offre qu'il va faire. La valeur de sa charge est obtenue soit par son fournisseur qui lui envoie pour chaque médiation sa charge courante, soit par une estimation de la charge de son fournisseur selon le nombre d'unités de traitement qu'il lui a alloué. Ce dernier choix peut entraîner une désynchronisation entre la charge réelle du fournisseur et son estimation tandis que le premier implique une augmentation du nombre de messages échangés.

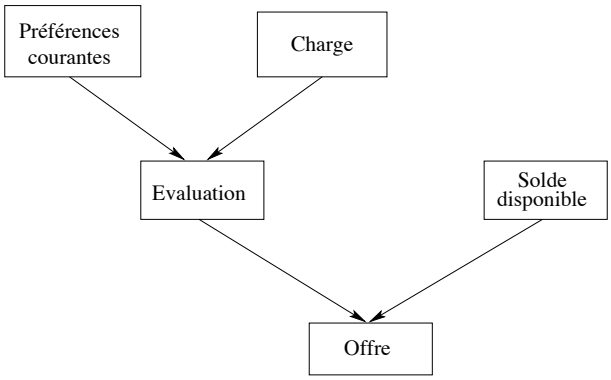


Figure 2.4 – Des préférences à l'offre

[1] Attention, cette notion n'a aucun rapport avec le type t d'une requête, défini dans la section 2.1.

Préférences courantes et charge permettent au représentant de définir l'**évaluation** qu'aurait fait son fournisseur pour la requête proposée. Cette notion correspond à la valeur que le représentant attribue à la requête, indépendamment de l'aspect monétaire : est-il intéressé ou non ?

Définition 2.13. : Évaluation
Soit une requête $req \in \mathcal{R}eq$. La fonction d'évaluation $v(\theta, lo_{req})$ pour la requête req est calculée à partir du type θ ainsi que de la charge lo_{req} du fournisseur :

$$v : \theta \times lo_{req} \mapsto \mathbb{R}$$

Une fois l'évaluation de la requête calculée, le représentant combine ce paramètre avec le solde monétaire dont il dispose (figure 2.4) afin d'obtenir l'offre. Ce solde évolue au fil du temps selon les facturations établies pour les requêtes précédemment soumises (obtenues ou non). Le solde influence l'offre monétaire soumise par le représentant car il peut servir de limite budgétaire. Supposons par exemple que le représentant considère la requête proposée comme très importante (évaluation élevée) : avec un solde suffisant, il fera une offre élevée afin de l'obtenir ; si son solde monétaire est nul, il ne pourra faire qu'une offre nulle qui ne traduira pas l'intérêt certain qu'il porte à cette requête. Lorsque le fournisseur ne sait pas réaliser la requête, son représentant considère que son évaluation est nulle.

Comme le solde influence la valeur de l'offre, on ne peut pas utiliser l'offre dans le calcul de l'utilité car l'intérêt porté pour la requête peut être perdu dans le calcul de l'offre. Nous utilisons directement l'évaluation car elle traduit bien la valeur de l'intérêt initialement calculée. L'aspect monétaire est alors pris en compte à travers la facturation établie par le médiateur. Le fait d'introduire ce critère dans le calcul de l'utilité permet au représentant d'évaluer au mieux la perte (ou le gain) d'argent d'une médiation afin de continuer à satisfaire son fournisseur par la suite.

À partir des différents éléments présentés précédemment, nous définissons maintenant l'utilité du représentant une fois que le résultat de la médiation a été rendu par le médiateur.

Définition 2.14. : Utilité d'un représentant
Soit $(\vec{alloc}_{req}, \vec{bill}_{req})$ une médiation. Soient θ, lo_{req} et $v(\theta, lo_{req})$ respectivement le type, la charge et l'évaluation du représentant r pour la requête req. L'utilité de r est la suivante :

$$u_r(\theta, lo) = \vec{alloc}[r] \times v(\theta, lo_{req}) - \vec{bill}[r]$$

Les valeurs de l'évaluation et de la facturation sont du même ordre de grandeur afin que l'utilité du représentant ait un sens au niveau numérique une fois que la comparaison entre les deux est réalisée.

On note ici que si le représentant n'a pas participé au processus de médiation car son fournisseur ne savait pas réaliser la requête et que dans ce cas, le médiateur n'applique pas de facturation au pair, son utilité est nulle. En effet, la définition 2.1.2 prévoit que dans ce cas, $\vec{alloc}[r] = 0$. Ainsi, le fait de ne pas participer au processus n'a rien fait perdre (ni gagner) au représentant.

2.2.2 Utilité du médiateur

Le médiateur est considéré comme un élément clé des sphères : il a un rôle d'organisateur et de gestionnaire du mécanisme. Son utilité est basée sur les profits qu'il peut faire au travers des facturations. En effet, c'est le seul critère qui l'intéresse : la qualité des réponses qu'il fournit lui est indifférent tandis qu'il n'a pas d'évaluation personnelle sur les requêtes qu'il traite.

Définition 2.15. : Utilité d'un médiateur
Soit $(\vec{alloc}_{req}, \vec{bill}_{req})$ une médiation. L'utilité d'un médiateur m est la suivante :

$$u_m = \sum_{j \in \mathcal{P}_m^{req}} \vec{bill}[j]$$

2.2.3 Utilité du fournisseur d'informations

Il a une utilité d'ordre non économique. Il s'intéresse aux types des requêtes qu'il obtient ou pas. Son utilité pour une requête va dépendre de plusieurs critères : ses préférences globales θ ainsi que sa charge réelle lo. En combinant ces deux critères sur le même principe que celui du représentant, nous obtenons l'évaluation qu'il attribue à cette requête. Cette évaluation est similaire à celle du représentant étant donné que c'est le fournisseur qui a fourni à son représentant le mode de calcul et les préférences. Une correspondance indirecte existe entre l'utilité du fournisseur et celle de son représentant. Celle-ci est voulue car ils agissent dans le même but : satisfaire au mieux les intérêts du fournisseur. Il n'est donc pas concevable que le représentant ait une utilité totalement indépendante de celle de son fournisseur. On aurait pu par contre supposer que l'utilité du fournisseur soit directement liée à celle de son représentant. Or, le fournisseur peut tout à fait appartenir à une médiation où il n'existe pas de représentant : il doit être capable de gérer seul son utilité par des critères qui lui sont propres et indépendemment de toute autre chose. Le sens indirect existe du fournisseur (qui fournit les informations le concernant) à son représentant.

Définition 2.16. *:* **Utilité d'un fournisseur**
Soit $(\vec{alloc}_{req}, \vec{bill}_{req})$ *une médiation. Soient* θ, lo_{req} *et* $v(\theta, lo_{req})$ *respectivement le type, la charge et l'évaluation du fournisseur* p *pour la requête* req*. L'utilité de* p *est la suivante :*

$$u_p(\theta, lo_{req}) = a * v(\theta, lo_{req}) \text{ avec } a = \left| \begin{array}{ll} 1 & \text{si } \vec{alloc}[p] = 1 \\ -1 & \text{sinon} \end{array} \right.$$

Avec cette définition, lorsque le fournisseur ne sait pas réaliser la requête qui lui est proposée, son utilité est nulle car son évaluation est nulle [2].

Illustration de la pertinence de la définition

À travers un exemple, nous vérifions que la définition de l'utilité exprimée précédemment correspond bien à nos attentes (en particulier au niveau du signe), celles-ci étant exprimées dans la table 2.1. Nous devons aussi vérifier que nous obtenons une intensité correcte pour l'utilité, à savoir que si le pair désire fortement la requête et qu'il l'obtient, son utilité sera élevée elle aussi (même raisonnement dans le cas où il ne la veut pas). Nous n'étudions ici que le cas où les fournisseurs savent faire la requête, dans le cas contraire l'évaluation est nulle ainsi que l'utilité. Les différents cas que nous pouvons rencontrer pour une requête req avec θ et lo les données du représentant pour cette requête sont indiqués dans la table 2.1 : l'évaluation peut être positive ou négative tandis que le pair obtient ou non la requête.

Nous nous servons des deux exemples présentés dans les tables 2.2 et 2.3 afin d'illustrer la définition de l'utilité du fournisseur d'informations. Ces deux exemples font intervenir quatre fournisseurs.

- Exemple 1 :
  Sur la table 2.2, nous constatons que les fournisseurs p_1 et p_2 ont un intérêt élevé pour réaliser la requête req tandis que p_3 est indifférent et p_4 non intéressé. Cependant, un seul fournisseur est demandé par l'initiateur : p_2 est sélectionné. Celui-ci a une utilité positive d'autant plus qu'il désirait l'obtenir (cas a). A l'inverse, p_1 n'est pas satisfait de ne pas avoir été retenu et possède une utilité négative à hauteur de -0.8 (cas b).

[2] Une autre façon de faire serait de considérer que le représentant n'avertit pas son fournisseur de l'existence des requêtes que celui-ci ne sait pas traiter.

Pour une requête req	Obtention	
	oui	non
$v(\theta, lo) \geq 0$	$u(\theta, lo) \geq 0$: **cas a**	$u(\theta, lo) \leq 0$: **cas b**
$v(\theta, lo) < 0$	$u(\theta, lo) < 0$: **cas c**	$u(\theta, lo) > 0$: **cas d**

Table 2.1 – Vérification de l'utilité du fournisseur

	$v(\theta, lo)$	$\vec{alloc}$	a	$u(\theta, lo)$
p_1	0.8	0	-1	-0.8
p_2	0.7	1	1	0.7
p_3	0.0	0	-1	0.0
p_4	-0.2	1	-1	0.2

Table 2.2 – Exemple 1 : $req.n = 1$ pour la requête req

Le cas de p_3 est plus particulier. Il est indifférent à l'obtention ou non de la requête req : son évaluation est nulle. Il n'est pas pénalisé par le fait de ne pas avoir obtenu la requête du point de vue de sa satisfaction.
Enfin, le fournisseur p_4 ne souhaitait pas traiter la requête ($v(\theta, lo) < 0$) et il ne l'a pas obtenue (cas d). Il est d'autant plus satisfait de la valeur de l'intérêt qu'il y portait.

- Exemple 2 :

	$v(\theta, lo)$	$\vec{alloc}$	a	$u(\theta, lo)$
p_1	0.8	1	1	0.8
p_2	-0.6	1	1	-0.6
p_3	0.0	1	1	0.0
p_4	-0.9	0	-1	0.9

Table 2.3 – Exemple 2 : $n = 3$ pour la requête req

Dans cet exemple (table 2.3), nous avons cette fois-ci trois pairs sélectionnés ($n = 3$). Les fournisseurs d'informations retenus sont : p_1, p_2 et p_3. Les états de p_1 et p_4 reviennent respectivement aux cas a et d précédemment expliqués.
Le pair p_3 a un intérêt nul de réaliser la requête req. Il l'a obtenue, cela ne lui a apporté aucune satisfaction supplémentaire par rapport au cas où elle ne lui aurait pas été allouée (comme nous avons pu le voir dans l'exemple 1).
Enfin, le dernier fournisseur sélectionné, à savoir p_2 correspond au cas c. Il ne désire pas faire la requête mais le médiateur lui a tout de même alloué. Il est normalement non satisfait de ce résultat et traduit ce fait par son utilité négative d'autant plus qu'il ne voulait pas la traiter.

2.2.4 Utilité de l'initiateur

L'utilité de l'initiateur est d'ordre non économique. Nous avons indiqué dans la section 2.1 que l'initiateur s'intéresse aux qualités (temps de réponse, pertinence du résultat...) des réponses. Pour cette

raison, nous introduisons le vecteur de qualité $\vec{Q}$ relatif à la médiation en cours. $\vec{Q}$ $[p]$ correspond à la qualité de la réponse fournie par le fournisseur p. La notion de qualité est vague pour un initiateur : elle peut se baser sur de nombreux critères. Elle peut prendre en compte le temps de réponse de la requête dans un contexte d'équilibrage de charge, le format de la réponse (il demande des images, on lui propose des fichiers textes), la qualité en elle-même de la réponse (il est intéressé par un nombre impair, il demande un nombre à un médiateur et celui-ci lui renvoie un nombre pair)...L'initiateur s'intéresse aussi au nombre de fournisseurs qui lui sont fournis par le médiateur par rapport au nombre qu'il lui avait demandé initialement. En effet, ce dernier critère a une importance dans le calcul de la satisfaction de l'initiateur. Par exemple, s'il demande dix réponses au médiateur pour sa requête et que ce dernier ne lui fournit qu'un seul fournisseur mais avec une qualité maximale : d'un côté, il sera content car il aura une réponse très bonne mais d'un autre côté, il n'aura eu qu'une seule réponse par rapport aux dix initialement demandées. Il aurait peut être été plus satisfait en ayant dix réponses avec une qualité moindre.

Définition 2.17. *:* **Utilité d'un initiateur intéressé par la qualité des réponses**
Soit req une requête (avec n le nombre de fournisseurs demandés), $\vec{Q}$ le vecteur de qualité des $\mathcal{P}_m^{req}$ fournisseurs. L'utilité de l'initiateur us est définie comme :

$$u_{us} = \frac{\sum_{j \in \widehat{\mathcal{P}_m^{req}}} \vec{Q}[j]}{n}$$

2.2.5 Utilité de non participation d'un pair à une médiation

Les définitions précédentes sur l'utilité des pairs correspondent au cas où le pair participe à la médiation. Pour la suite de l'étude, nous avons également besoin d'avoir son utilité lorsqu'il ne participe pas à une médiation. Nous considérons que le pair fait partie de $\mathcal{P}_m^{req}$ mais ne participe pas à la médiation en cours.

Notation 2.2. *Utilité de non participation à une médiation*
Soient pe un pair, req une requête. L'utilité de non participation du pair pe pour la médiation relative à la requête req est notée $\overline{u}_{pe}(req)$.

2.2.6 Utilité globale d'un pair pour un ensemble de médiations

Pour chacun des types de pairs existants, nous avons énoncé leur utilité pour une médiation. Or, comme nous avons pu le voir dans la section 2.1.2, il est intéressant d'étudier le processus sur une période plus longue qu'une seule médiation. Nous introduisons la notion d'**utilité globale** d'un pair : celle-ci se calcule à partir du résultat d'une séquence de médiations en utilisant les définitions sur les utilités de chaque pair précédemment introduites dans cette même section. Elle traduit la satisfaction que ce pair retire du processus dans lequel il est engagé.

Définition 2.18. : Utilité globale relative à une séquence de médiations
Soient $PMed$ un processus de médiation, pe un pair, (Med_{req_i}, ...,$Med_{req_{i+l}}$) une séquence de médiations utiles de longueur l du pair pe. L'utilité globale de ce pair sur cette séquence est la somme de ses utilités calculées à partir de chaque médiation Med_j, ($i \leq j \leq i+l$), notée $\sum_{j=i}^{i+l} u_{req_j}$.

2.3 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la modélisation des systèmes à médiateurs de requêtes que nous étudions dans la suite. Ces systèmes se basent sur l'utilisation de médiateurs afin de faire le lien entre des initiateurs et des fournisseurs présents dans un processus de médiation. Nous avons retenu plus particulièrement les processus dans lesquels des offres sont employées par les fournisseurs, c'est-à-dire des processus économiques. Nous avons présenté les différents constituants d'un tel système. Les pairs correspondent au premier élément de base. Nous avons défini le rôle de chacun des pairs, à savoir initiateur, médiateur, fournisseur, en détaillant leur fonctionnement et leurs buts. Ensuite, comme ces pairs sont en relation au travers des différents processus de médiation du système, nous avons étudié les liens qui les relient. Nous avons précisé précédemment que nous nous intéressons uniquement aux mécanismes où des offres sont faites. Dans ce but, nous avons défini l'ensemble des monnaies ayant cours dans le système, celles-ci nous servant à connaître l'appartenance d'un pair à un processus.

Afin de voir l'impact qu'un processus produit sur les pairs qui l'entourent, nous avons proposé une organisation basée sur des sphères d'influence. Cette représentation a pour objectif par la suite de faciliter l'étude des propriétés que les processus de médiation peuvent avoir. Un problème est tout de même apparu au niveau du fournisseur d'informations, celui-ci étant doublement influencé par un processus économique. En effet, il a un aspect économique qui intervient au travers de sa participation directe au processus et un aspect plutôt social à cause de ses intérêts propres vis-à-vis des requêtes qu'il obtient. Afin de séparer ces deux parties pour l'étude des propriétés, nous avons introduit un nouveau type de pairs, le représentant du fournisseur, qui a pour but de remplacer son fournisseur auprès du médiateur et ainsi de s'occuper du côté économique du processus.

Enfin, nous avons défini les utilités de chacun des types de pairs pouvant appartenir à un processus. L'utilité d'un pair traduit la satisfaction qu'il retire du processus et peut lui permettre de prendre certaines décisions comme par exemple, sur son avenir dans ce même processus s'il est mécontent. De plus, elles nous servent de support pour étudier le comportement des pairs et l'existence des propriétés qu'un processus peut vérifier.

CHAPITRE 3

La médiation flexible

Nous avons pu constater dans le chapitre 1 qu'il n'existe pas mécanisme de médiation permettant de prendre réellement en compte, à la fois la qualité et les offres des fournisseurs pour traduire les intérêts des initiateurs et des fournisseurs. En effet, la notion de qualité utilisée dans les mécanismes ne représente pas nécessairement l'intérêt de l'initiateur. Pour notre part, nous considérons la **qualité** comme étant la réputation des fournisseurs sur le travail qu'ils peuvent fournir, la qualité des fournisseurs intéressant directement l'initiateur. Nous l'obtenons sur la base de retours d'opinion de la part des initiateurs. Les **offres**, quant à elles, correspondent à l'intérêt que peuvent avoir les fournisseurs à traiter ou non la requête qui leur est soumise par le médiateur. Nous présentons dans ce chapitre, la **médiation flexible** qui permet de combiner à la fois les qualités et les offres des fournisseurs afin de déterminer ceux qui seront sélectionnés. Ce fonctionnement permet de tenir compte des points de vue des différents antagonistes qui interviennent, à savoir les fournisseurs et les initiateurs.

Un second aspect important que la médiation flexible apporte, est la **réquisition** de fournisseurs lorsque c'est nécessaire. En effet, le médiateur peut être confronté au cas où il n'a pas à sa disposition suffisamment de pairs voulant traiter la requête alors que ces derniers sont aptes, d'après leurs capacités, à la faire : ils peuvent ne pas être intéressés par la requête, être trop chargés.... Pour apporter une solution à ce problème, nous nous basons sur le travail de Shoham et Tennenholtz [67] dans lequel ils considèrent un environnement où seuls des pairs ne souhaitant pas réaliser la requête sont présents. Cependant, notre médiation permet d'imposer la requête à des pairs, dans un contexte où cohabitent des pairs voulant faire la requête et d'autres ne le voulant pas. En contrepartie de cette réquisition, les pairs concernés sont dédommagés financièrement.

La médiation flexible considère un seul médiateur pour sa mise en œuvre dont le but est de toujours fournir aux initiateurs le nombre de fournisseurs qu'ils ont demandés (selon la disponibilité des pairs capables de réaliser la requête) tout en permettant aux fournisseurs d'obtenir les requêtes qu'ils désirent. Nous proposons dans ce chapitre, une architecture d'un système à médiateur de requêtes et la médiation flexible en elle-même. Ensuite, nous étudions les propriétés qu'elle vérifie d'un point de vue microéconomique avant de proposer la définition d'une propriété de rationalité individuelle sur le long terme.

3.1 Choix d'architecture du système

Nous nous focalisons dans cette partie sur la mise en place de la médiation flexible dans un système à médiateurs de requêtes dont la modélisation a été présentée dans le chapitre 2. Nous explicitons ici, tout d'abord l'architecture du système en question, puis les rôles des acteurs et enfin, nous nous intéressons plus en détail aux sphères dans lesquelles ils agissent.

3.1.1 Rôles particuliers des acteurs

Comme présenté dans le chapitre précédent, plusieurs acteurs interviennent dans la médiation flexible : le médiateur, les initiateurs, les fournisseurs d'informations et leurs représentants. La figure 3.1 illustre l'architecture du système.

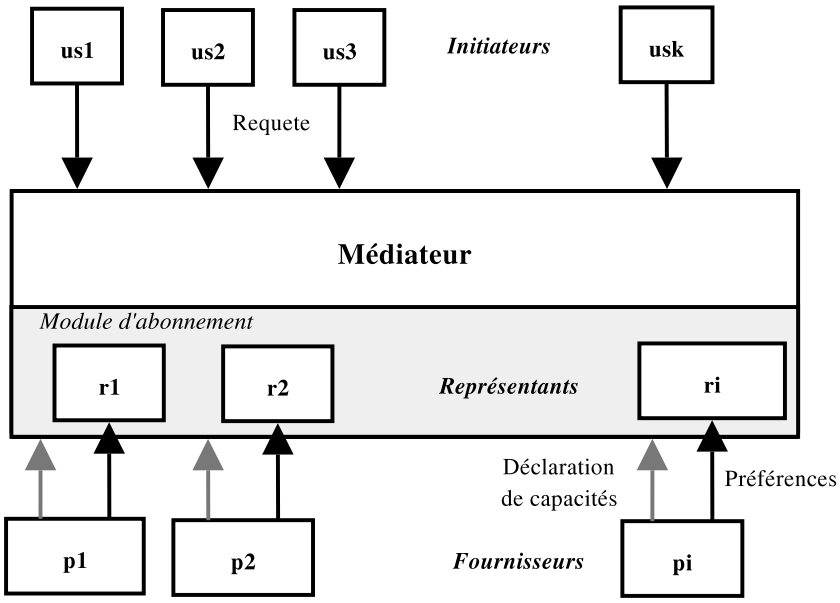


Figure 3.1 – Architecture du système

L'intérêt de l'**initiateur** dans la médiation flexible se porte sur la qualité des fournisseurs qui lui sont proposés. Il peut ensuite donner son opinion au médiateur sur ces fournisseurs selon leurs résultats. Cela permet à l'initiateur d'être plus actif dans le mécanisme et de pouvoir influencer sur le long terme la qualité des réponses qui lui seront fournies. En effet, le médiateur améliore ses connaissances sur ses fournisseurs : il sait qui est de bonne ou mauvaise qualité pour chaque type de requêtes.

Le **fournisseur d'informations** informe son représentant sur ses capacités de travail comme par exemple, les requêtes qu'il est capable de réaliser, celles qu'il désire, sa charge de travail, etc. Il peut se désabonner du médiateur s'il estime que celui-ci ne le satisfait pas, par exemple dans le cas où il ne lui fournit pas de requête ou encore s'il lui fournit des requêtes non conformes à ses attentes.

À sa création, le **représentant** dispose d'un solde monétaire fourni par le médiateur ainsi que des préférences de son fournisseur. Lorsque le médiateur lui soumet une requête, il fait une offre traduisant l'intérêt que son fournisseur porte à la requête en fonction de ses préférences, de sa charge actuelle et du crédit à sa disposition. Il peut soumettre une offre positive s'il est intéressé par la requête ou à l'inverse négative s'il considère que, selon ses critères de décision, réaliser la requête ne satisfera pas son fournisseur. La valeur absolue du montant de l'offre traduit l'intensité de l'intérêt qu'il porte ou non à la requête. Son but est de satisfaire son fournisseur en respectant au maximum les demandes de celui-ci.

Le **médiateur** reçoit des requêtes des initiateurs, il les traite de manière séquentielle. Comme le démontre le théorème 3.1, lors d'une médiation, il peut récupérer de l'argent correspondant à la facturation mais ne jamais en perdre. Nous avons défini l'utilité d'un médiateur sur la base de la somme des facturations qu'il établit (section 2.2.2). Que peut-il alors faire des bénéfices qu'il a obtenus ? Deux cas sont à considérer :

1. soit le médiateur gère cet argent d'un point de vue macroéconomique, à savoir que l'argent gagné peut lui être utile pour le reste du système. Par exemple, il peut s'en servir pour couvrir des coûts de maintenance ou autre,
2. soit le médiateur utilise localement cet argent et peut le redistribuer aux représentants. Plusieurs techniques de réattribution peuvent être utilisées : redistribution identique à tous quel que soit leur solde, redistribution identique entre tous les fournisseurs n'ayant pas un solde supérieur au solde initial ou encore sur d'autres critères comme par exemple le nombre de requêtes déjà traitées, la qualité des réponses apportées...

Dans le cadre de la médiation flexible, nous avons retenu cette seconde possibilité, partant de la base que le médiateur n'a pas de coût de fonctionnement à gérer, d'autant plus que l'argent est virtuel.

D'autre part, le médiateur reçoit aussi les opinions des initiateurs sur les fournisseurs qu'il a fournis. Il les exploite en les aggrégeant avec les qualités dont il dispose déjà dans sa base de stockage. Il fait ceci afin d'améliorer ses informations sur ses fournisseurs et ainsi, obtenir de meilleurs résultats pour les médiations futures.

3.1.2 Les zones d'influence dans la médiation flexible

Nous avons présenté dans la section 2.1.3 les zones d'influence d'une monnaie et par conséquent d'un processus de médiation sous forme de sphères. Nous décrivons maintenant plus spécifiquement leur fonctionnement dans le cadre de la médiation flexible.

3.1.2.1 La sphère économique

La **sphère économique** est le lieu où circule la monnaie, qui lui est unique. Dans le cas de la médiation flexible, cet argent est virtuel. Nous avons fait le choix qu'il soit mis en circulation par le médiateur. L'existence même de la sphère économique est dûe au fait que la médiation utilise de l'argent introduit par le médiateur. Si la médiation implémentée n'avait pas cette notion économique, cette sphère n'existerait pas et serait sans doute remplacée par un autre type de sphère.

Nous avons vu dans les descriptions précédentes des rôles des pairs que seuls deux d'entre eux ont connaissance de cet argent : le médiateur à travers son statut de banque et le représentant par le solde initial qui lui est alloué mais également par le fait qu'il utilise la monnaie du processus. Ce sont ces deux types de rôles qui appartiennent à la sphère économique. Le médiateur joue un rôle de régulateur dans cette sphère, d'une part parce qu'il introduit l'argent virtuel, et d'autre part, par son système de redistribution de ses gains.

3.1.2.2 La sphère d'influence directe

La **sphère d'influence directe** correspond à l'environnement direct de la sphère économique. Cependant, elle garde une certaine indépendance vis-à-vis de la sphère économique. En effet, la sphère d'influence directe peut exister dans le cas où une médiation non économique serait implémentée ; l'inverse n'est pas vrai.

Elle contient l'ensemble des pairs intéragissant directement avec les pairs de la sphère économique. Ainsi, on retrouve les rôles d'initiateur et de fournisseur d'informations. De plus, le médiateur et les représentants appartiennent également à la sphère d'influence directe car la sphère économique est incluse dans celles-ci.

3.1.2.3 La sphère d'influence

La **sphère d'influence** correspond à un environnement en relation moins directe avec la sphère économique. Des pairs appartenant à la sphère d'influence peuvent tout de même être influencés par la sphère économique.

Cependant, dans ce chapitre, nous ne nous intéressons qu'à un seul médiateur, celui de la médiation flexible. Ainsi, la sphère d'influence n'a pas lieu d'exister dans le contexte présenté ici.

3.2 Architecture du médiateur

Nous indiquons maintenant le fonctionnement général du **médiateur** m de la médiation flexible en se basant sur son architecture, illustrée par la figure 3.2. Chaque boîte rectangulaire correspond à un module. Le médiateur doit proposer un certain nombre de fournisseurs en réponse à la requête req reçue de la part de l'initiateur us. Ce dernier fixe ce nombre n lors de l'envoi de sa requête.

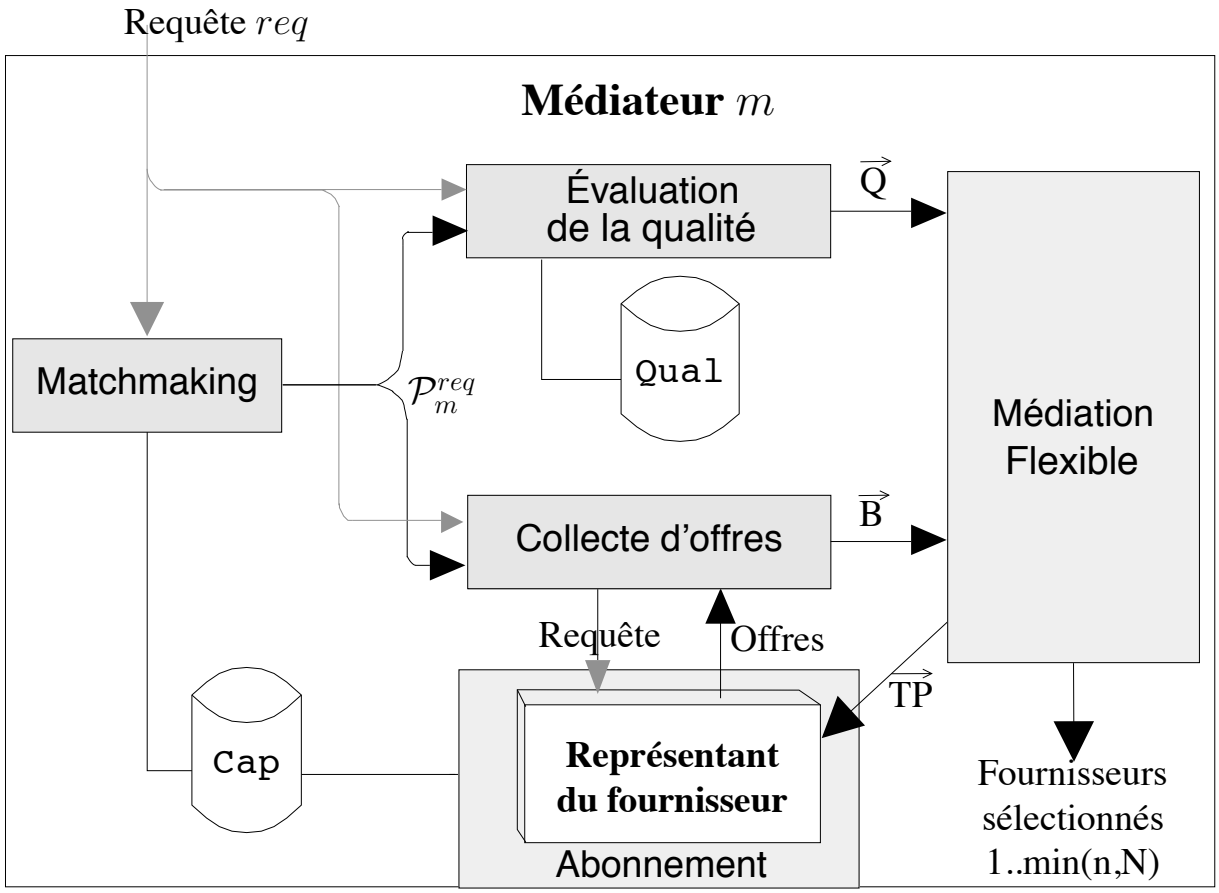


Figure 3.2 – Architecture du médiateur

Le médiateur possède un module d'abonnement lui permettant d'accueillir de nouveaux fournisseurs ou d'en désabonner d'autres, puisque nous sommes dans un système ouvert où les pairs sont libres

de leurs mouvements. Ces changements ne sont pas pris en compte lorsqu'une médiation est déjà enclenchée, ils ne le seront que pour les suivantes. Les fournisseurs s'abonnent auprès du médiateur en l'informant de leurs **capacités**. Ces dernières sont stockées dans la base de données des capacités, notée *Cap* (toute autre forme de stockage est envisageable). Lors de cette inscription, un représentant est créé localement au médiateur. En plus des avantages de ce nouveau rôle présenté dans la section 2.1.4, le représentant sert également à diminuer le nombre de messages échangés entre le médiateur et son fournisseur, les échanges se faisant maintenant de manière locale. En effet, c'est le représentant qui réalise les offres auprès du médiateur selon les préférences que son fournisseur lui a fournies. Ce dernier a ensuite la possibilité d'indiquer à son représentant des modifications éventuelles de ses préférences.

Lorsque le médiateur m reçoit une requête req, il doit déterminer l'ensemble des fournisseurs potentiellement aptes à y répondre, au vu de leurs capacités. Pour cela, il utilise le module de matchmaking (section 1.1.2) afin de réaliser une présélection parmi l'ensemble des fournisseurs abonnés $\mathcal{P}_m$ sur la base de leurs capacités stockées dans *Cap*. Cette étape ne fait pas réellement partie de l'étude de la médiation en elle-même : ainsi, n'importe quel principe de matchmaking permettant une corrélation adéquate et correcte entre la requête et les capacités des fournisseurs est accepté. Après cette étape, le médiateur obtient l'ensemble des fournisseurs capables de traiter la requête, noté $\mathcal{P}_m^{req}$, qui sert de base à la médiation. On note N la cardinalité $\mid \mathcal{P}_m^{req} \mid$ de cet ensemble : ainsi, les fournisseurs sont numérotés de 1 à N, ce qui correspond aux identifiants des pairs gérés par le médiateur et ils sont uniques.

Le traitement de la requête arrive ensuite au niveau des modules d'évaluation de la qualité et de collecte des offres. Comme l'illustre la figure 3.2, le médiateur consulte la qualité des fournisseurs $\mathcal{P}_m^{req}$ dans sa base de qualité *Qual* et interroge les représentants de ces mêmes fournisseurs sur leur offre. Les données pour la requête en question sont stockées sous forme de vecteurs.

Les **qualités** des différents fournisseurs sont mises à jour régulièrement par le médiateur selon les techniques proposées dans la section 1.3.3.2. Par exemple, il peut obtenir des retours d'opinion des initiateurs, sur les fournisseurs qu'ils ont utilisés. Nous supposons que la valeur de la qualité est définie pour un fournisseur et pour un type de requête. Le vecteur de qualité de la requête req est noté $\vec{Q}_{req}$ avec $\vec{Q}_{req}[i](\in \mathbb{R})$ qui représente la qualité du fournisseur i ($i \in \mathcal{P}_m^{req}$).

Le vecteur $\vec{B}_{req}$ représente les **offres** faites par les représentants pour la requête req. $\vec{B}_{req}[i]$ désigne l'offre du représentant i ($i \in \mathcal{P}_m^{req}$) [1]. La valeur d'une offre est définie sur $\mathbb{R}$. Elle traduit l'intérêt qu'un fournisseur porte à la requête. Si l'offre est positive, il est intéressé par la requête. Plus la valeur de son offre est élevée, plus il est intéressé. Inversement, une offre négative indique qu'il ne veut pas faire la requête. Plus la valeur absolue de son offre est élevée, moins il désire traiter la requête. Pour la suite de la description de la médiation et pour des facilités de compréhension, nous utilisons le terme de fournisseur pour l'explication en confondant les rôles de fournisseur et de représentant.

[1] Lorsqu'aucune ambiguïté ne sera possible sur la requête concernée, nous omettrons de faire référence à celle-ci : ainsi $\vec{B}_{req}$ deviendra $\vec{B}$, de même pour la qualité ($\vec{Q}$). Le même fonctionnement sera appliqué pour toute autre notation utilisant une notion sur la requête req.

Entrées :
$\mathcal{P}_m^{req}$ l'ensemble des fournisseurs capables de réaliser req,
$\vec{Q}$ et $\vec{B}$ les vecteurs de qualité et d'offres,
n le nombre de pairs demandés par l'initiateur.

Sorties :
$\widehat{\mathcal{P}_m^{req}}$ la sélection,
$\vec{TP}$ la facturation.

Début

[Sélection]

Pour tout $j \in \mathcal{P}_m^{req}$ **faire**
  calculer $\vec{L}[j]$; { Niveau des fournisseurs }

Pour k **de** 1 **à** N **faire**
  calculer $\vec{R}$[k] ; { Rang des fournisseurs}

$\widehat{\mathcal{P}_m^{req}} \leftarrow \vec{R}[1..\min(n, \mathrm{N})]$; { Sélection des n meilleurs }

[Facturation]

Pour tout $j \in \mathcal{P}_m^{req}$ **faire**
  {Calculer la facture globale de j pour cette médiation}
  $\vec{TP}[j] \leftarrow 0$;
    Pour tout $i \in \widehat{\mathcal{P}_m^{req}}$ **faire**
      { Montant partiel de j pour la sélection de i }
      calculer $\vec{PP}[i,j]$;
      $\vec{TP}[j] \leftarrow \vec{TP}[j] + \vec{PP}[i,j]$

Fin

Algorithme 1: Algorithme de la médiation flexible

La médiation se déroule en deux étapes principales : tout d'abord la **sélection** de n fournisseurs parmi les $\mathcal{P}_m^{req}$ (détermination de l'**allocation**), puis la phase de **facturation**, comme l'illustre l'algorithme 1.

3.3 Allocation d'une requête

Pour obtenir la sélection des n fournisseurs, le médiateur agrège l'offre et la qualité de chacun des N fournisseurs afin d'obtenir ce que l'on appelle le *niveau* des fournisseurs, noté sous la forme d'un vecteur, $\vec{L}$.

Définition 3.1. Niveau des fournisseurs
$\forall i \in \mathcal{P}_m^{req}, \vec{L}[i] = \left| \begin{array}{ll} (\vec{B}[i]+\varepsilon)^{\omega} \times (\vec{Q}[i]+\varepsilon)^{1-\omega} & \textit{si } \vec{B}[i] \geq 0 \\ -(-\vec{B}[i]+\varepsilon)^{\omega} \times (\vec{Q}[i]+\varepsilon)^{\omega-1} & \textit{sinon.} \end{array} \right.$
avec $\omega \in [0..1]$ *et* $\varepsilon > 0$.

Les offres et qualités n'étant pas définies sur les mêmes unités, il est impossible de les sommer, d'autant que l'argent présent dans le mécanisme n'est pas borné alors que la qualité l'est. Ainsi, nous utilisons un produit entre la qualité et l'offre, qui permet en plus si une des deux valeurs est forte d'augmenter la valeur du niveau de manière conséquente.

Deux nouveaux paramètres interviennent dans la définition 3.1 : ω et ε. Le paramètre ω a pour rôle d'indiquer l'importance de la qualité par rapport à l'offre et vice versa. Ainsi, si ω est égal à 0, le médiateur ne prend en compte que la qualité pour réaliser sa sélection. Inversement, avec ω égal à 1, seules les offres sont comptabilisées. Le paramètre ε a pour but d'éviter que le niveau soit égal à 0 dans le cas où la qualité ou l'offre est nulle. En effet, si ε n'existait pas et que l'une des deux valeurs était égale à 0, vu la définition du niveau, cela reviendrait à multiplier par 0 et donc le niveau serait nul. La seconde valeur (différent de 0) perdrait alors tout son sens. On peut voir l'effet du paramètre ε dans la table 3.1 pour le fournisseur p_5 dont la qualité est nulle. Son niveau n'est pas égal à 0 mais à 3.482. L'offre a donc bien été comptabilisée pour le calcul du niveau.

Une fois que le médiateur a déterminé le niveau de tous les fournisseurs, il classe ces derniers en fonction de ce critère.

Définition 3.2. Relation de comparaison des niveaux
Soit req *une requête. La relation* $<_{req}$ *est définie par :*
$\forall\ (i,j) \in (\mathcal{P}_m^{req} \times \mathcal{P}_m^{req})$, $i <_{req} j$ *si et seulement si :*

1. $\vec{L}[i] < \vec{L}[j]$, *ou*
2. $\vec{L}[i] = \vec{L}[j]$ *et*
   - *si* $\omega < 1-\omega$ *(i.e. la qualité a plus de poids que l'offre)*
     - $\vec{Q}[i] < \vec{Q}[j]$, *ou*
     - $\vec{Q}[i] = \vec{Q}[j]$ *et (*$\vec{B}[i] < \vec{B}[j]$, *ou* $\vec{B}[i] = \vec{B}[j]$ *et* $i < j$ *)*
   - *si* $\omega > 1-\omega$ *(i.e. l'offre a plus de poids que la qualité)*
     - $\vec{B}[i] < \vec{B}[j]$, *ou*
     - $\vec{B}[i] = \vec{B}[j]$ *et (*$\vec{Q}[i] < \vec{Q}[j]$, *ou* $\vec{Q}[i] = \vec{Q}[j]$ *et* $i < j$ *)*
   - *si* $\omega = 1-\omega$ *:* $i < j$

La relation $<_{req}$ permet de comparer les fournisseurs deux à deux afin de déterminer leur ordonnancement. On peut démontrer certaines propriétés pour la relation $\leq_{req}$:

Théorème 3.1. *La relation* $\leq_{req}$*, obtenue à partir de* $<_{req}$ *et où l'égalité correspond à l'égalité syntaxique de l'identifiant, est un ordre total sur* $\mathcal{P}_m^{req}$.

DÉMONSTRATION 3.1. *La relation* $\leq_{req}$ *est :*

1. *Réflexive. Trivial puisqu'il y a égalité en cas d'égalité syntaxique du nom.*
2. *Transitive. Supposons* $i \leq_{req} j$ *et* $j \leq_{req} k$ *avec* $i, j, k \in \mathcal{P}_m^{req}$.
   - *Si* $i =_{req} j$*, les noms étant des identifiants uniques, cela signifie que* i *et* j *désignent en fait le même fournisseur. Donc, trivialement* $i \leq_{req} k$.
   - *De même si* $j =_{req} k$.
   - *Si* $i <_{req} j$ *et* $j <_{req} k$ *:*

- *si* $\vec{L}[i] < \vec{L}[j]$
  Puisque $j <_{req} k$*, par définition,* $\vec{L}[j] \leq \vec{L}[k]$*. Donc,* $\vec{L}[i] < \vec{L}[k]$*. D'où,* $i \leq_{req} k$*.*
- *si* $\vec{L}[j] < \vec{L}[k]$
  Même raisonnement.
- *si* $\vec{L}[i] = \vec{L}[j]$ *et* $\vec{L}[j] = \vec{L}[k]$
  Les différents cas à considérer sont : $\omega < 1 - \omega$*,* $\omega > 1 - \omega$ *et* $\omega = 1 - \omega$*. Chacun se divise en sous-cas et le raisonnement est toujours identique.*

3. *Antisymétrique*
   Supposons que $i \leq_{req} j$ *et* $j \leq_{req} i$*. Puisque* $i \leq_{req} j$*, les cas suivants sont à prendre en compte.*
   - $i <_{req} j$
     Ce qui par définition peut se traduire par :
     - $\vec{L}[i] < \vec{L}[j]$
       Si tel était le cas, nous aurions $\vec{L}[i] \not\geq \vec{L}[j]$*, et donc* $j \not<_{req} i$*. De plus, puisque les noms sont des identifiants uniques,* $i \neq j$*. Donc,* $j \not\leq_{req} i$ *: contradiction.*
     - $\vec{L}[i] = \vec{L}[j]$
       Ce cas se divise lui-même en sous-cas où le raisonnement est similaire à celui du point précédent ainsi que la conclusion : contradiction avec $j \leq_{req} i$*.*
   - $i =_{req} j$
     C'est le seul cas ne faisant pas apparaître de contradiction. Il correspond au cas où les deux variables désignent en fait le même fournisseur.

   Donc, si $i \leq_{req} j$ *et* $j \leq_{req} i$ *alors* $i = j$ *ce qui prouve l'antisymétrie.*

□

La relation $<_{req}$ présentée précédemment privilégie les fournisseurs désirant réaliser la requête (offre supérieure à 0) par rapport à ceux qui ne souhaitent pas la traiter. Cette particularité est énoncée dans le théorème suivant :

Théorème 3.2.
$\forall\, i, j \in \mathcal{P}_m^{req}$*, si* $\vec{B}[i] \geq 0$ *et* $\vec{B}[j] < 0$ *alors* $i >_{req} j$*.*

DÉMONSTRATION 3.2. *D'après la définition du niveau* $\vec{L}$*,*
- *si* $\vec{B}[i] \geq 0$ *alors* $\vec{L}[i] > 0$*.*
- *De même, nous supposons* $\vec{B}[j] < 0$*, entraînant* $\vec{L}[j] < 0$

d'où le résultat du théorème. □

Maintenant que le médiateur sait comment comparer le niveau de deux fournisseurs, il peut les ranger dans le vecteur de classement noté $\vec{R}$.

Définition 3.3. Classement des fournisseurs
Le rang d'un fournisseur est défini par :

$$\forall\, k \in [1..N],\ \vec{R}[k] = i \text{ ssi } i \in \mathcal{P}_m^{req} \text{ et } |\{j : j \in \mathcal{P}_m^{req} \text{ et } i \leq_{req} j\}| = k.$$

Ainsi, $\vec{R}[k]$ désigne le fournisseur classé $k^{ème}$. $\vec{R}[1]$ correspond au meilleur fournisseur selon la relation $<_{req}$, $\vec{R}[N]$ au moins bon. Une fois ce classement réalisé, le médiateur ne retient que n fournisseurs, correspondant aux n demandés par l'initiateur de requêtes. Il peut arriver que le nombre de fournisseurs présélectionnés (N) soit inférieur au nombre de fournisseurs demandés. Dans ce cas, le médiateur sélectionne les N fournisseurs, c'est-à-dire tous les fournisseurs capables de traiter la requête. On peut donc définir l'allocation réalisée pour la requête req.

Définition 3.4. Allocation
Soit $\mathcal{P}_m^{req}$ l'ensemble des fournisseurs capables de traiter la requête req. Le vecteur d'allocation $\vec{alloc}_{req}$ est rempli de la manière suivante :

$$\forall i \in \mathcal{P}_m^{req},\ \vec{alloc}[i] = \begin{cases} 1 & \text{si } \vec{R}[i] \leq min(n, N) \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

Les fournisseurs dont l'allocation est égale à 1 sont les fournisseurs qui sont proposés à l'initiateur. Cet ensemble est noté $\widehat{\mathcal{P}_m^{req}}$. Nous étudions maintenant la complexité de l'étape d'allocation.

Proposition 3.1. *La complexité de l'étape de l'allocation est en $\Theta(N \log_2(N))$.*

DÉMONSTRATION 3.3. *L'allocation se déroule en deux étapes principales comme nous venons de le voir : le calcul du niveau de chaque pair et le classement des fournisseurs par rapport à leur niveau.*

1. *Calcul du niveau :*
   Comme il est indiqué dans l'algorithme 1, le calcul se fait sur la base d'une boucle pour. *Cette boucle comporte N tours, ce qui amène cette étape à avoir un coût en $\Theta(N)$.*
2. *Classement des pairs :*
   Pour ce classement, nous utilisons un algorithme de tri par tas (heapsort) dont la complexité est en $\Theta(N \log_2(N))$.

Ainsi, en combinant les coûts de ces deux étapes, nous arrivons à $N + N \log_2(N)$ opérations, ce qui équivaut à une complexité en $\Theta(N \log_2(N))$. □

Nous présentons dans la table 3.1 quatre exemples de médiations s_1, s_2, s_3 et s_4 pour lesquelles, $\omega = 0.6$ et $\varepsilon = 1$. La valeur d'oméga signifie que les offres sont légèrement favorisées dans le calcul du niveau et des autres éléments utilisés dans la suite du déroulement de la médiation. Les offres et qualités des dix fournisseurs (notés de p_1 à p_{10}), sont indiquées : quatre fournisseurs ne souhaitent pas faire la requête ($\vec{B} < 0$), le fournisseur ayant la meilleure qualité est p_{10} et celui avec la meilleure offre, p_6.

Nous observons que, comme indiqué dans le théorème 3.2, les fournisseurs ayant fait une offre positive sont classés avant ceux ne désirant pas faire la requête. Le rang défini suite au calcul du niveau, nous indique que p_1 est le meilleur fournisseur avec un niveau de 9.752, suivi de p_6, p_8 et p_4. Le moins bon fournisseur selon les critères de sélection est p_9 avec un niveau ayant pour valeur -2.071. Le fournisseur p_{10} est celui qui a la meilleure qualité mais, comme il a fait une offre négative, il n'est classé que premier parmi ceux ayant fait une offre négative. p_1 a la deuxième meilleure qualité (après p_{10}) et aussi la deuxième meilleure offre ; vu que p_6 a une qualité beaucoup plus faible que p_1, p_6 est classé deuxième. Si on étudie la sélection s_1 où l'initiateur de requêtes demande quatre fournisseurs ($n = 4$), le médiateur sélectionne des fournisseurs ayant fait une offre positive, à savoir p_1, p_6, p_8 et p_4. Dans la sélection s_3 ($n = 7$), le médiateur choisit tous les pairs ayant fait une offre positive, ainsi que p_{10}, même si son offre est négative. Le médiateur impose la requête à ce fournisseur afin de satisfaire le nombre de réponses demandé par l'initiateur.

3.4 Facturation d'une requête

Une fois la sélection des n fournisseurs réalisée, le médiateur doit calculer la facture qu'il attribue à chacun des N fournisseurs. En effet, même ceux qui n'ont pas été sélectionnés peuvent avoir une facture.

		p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	p_8	p_9	p_{10}
	$\vec{B}$	8	-5	-4	1	7	10	2	8	-6	-1
	$\vec{Q}$	10	5	7	8	0	3	3	4	2	20
	$\vec{L}$	9.752	-1.430	-1.143	3.650	3.482	7.339	3.365	7.114	-2.071	-0.448
	$\vec{R}$	1	9	8	4	5	2	6	3	10	7
s_1	$\vec{alloc}_1$	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0
avec n=4	$\vec{TP}_1$	0.617	0.0	0.0	0.848	0.0	2.174	0.0	1.735	0.0	0.0
s_2	$\vec{alloc}_2$	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0
avec n=6	$\vec{TP}_2$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
s_3	$\vec{alloc}_3$	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1
avec n=7	$\vec{TP}_3$	1.283	1.283	1.283	1.283	1.283	1.283	1.283	1.283	1.283	-7.231
s_4	$\vec{alloc}_4$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
avec n=10	$\vec{TP}_4$	5.318	-4.793	-7.142	5.318	5.318	5.318	5.318	5.318	-0.681	-19.292

Table 3.1 – Exemple de médiations avec $\omega = 0.6$ et $\varepsilon = 1$

3.4.1 Offre théorique

Comme nous l'avons vu précédemment, la sélection a été faite sur la base de deux critères, l'offre et la qualité. Ces deux critères doivent alors obligatoirement intervenir dans le calcul de la facturation. Or, dans les processus traditionnels tels que les ventes aux enchères (section 1.2.6.1), le paiement ne se fait que par rapport aux offres. Nous devons établir un moyen permettant à la facturation de prendre en compte l'offre et la qualité. L'idée pour déterminer la facturation est de se baser sur le principe de la vente aux enchères Vickrey généralisée, à savoir que le paiement est calculé par rapport au $n+1^{ème}$ pair (c'est-à-dire le premier non sélectionné). L'**offre théorique** que nous introduisons ici va nous permettre de faire la comparaison entre le pair appartenant à $\widehat{\mathcal{P}_m^{req}}$ à qui nous voulons établir la facture et au $n+1^{ème}$ pair. Un fournisseur n'a pas la capacité d'influencer sa qualité auprès du médiateur à court terme. Pour cette raison, nous allons nous intéresser plus particulièrement à l'offre car le fournisseur peut en décider. Il a en effet la possibilité de la faire varier de la manière dont il l'entend entre deux tours de médiation. L'offre théorique représente alors l'offre qu'aurait dûe faire un fournisseur pour atteindre un niveau l donné (par exemple, celui du $n+1^{ème}$ pair).

Proposition 3.2. *Soit req une requête et i un fournisseur ($i \in \mathcal{P}_m^{req}$). Si le médiateur utilise une stratégie de sélection telle que $\omega \neq 0$ alors l'offre théorique que devrait faire i pour atteindre le niveau l pour la requête req est :*

$$\vec{B}^{Th}(i,l) = \alpha\, max((\alpha \times l)^{\frac{1}{\omega}}(\vec{Q}[i]+\varepsilon)^{\frac{\alpha(\omega-1)}{\omega}} - \varepsilon, 0)$$

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

Cette formule correspond à la résolution de l'équation $\vec{L}[i] = l$, à $\vec{Q}[i]$, ω et ε fixés. Cette fonction est croissante selon l (les autres paramètres étant fixés). Nous considérons que ω doit être différent de 0. En effet, si $\omega = 0$, seules les qualités sont prises en compte et donc, quelle que soit la valeur de l'offre réalisée par un fournisseur, elle n'influencera jamais son niveau. D'après les données contenues dans la table 3.1, on peut calculer l'offre que le pair p_6 aurait dûe faire pour atteindre le niveau du pair p_5 et

vice-versa. Le fournisseur p_6 aurait dû soumettre une offre de 2.174 afin d'atteindre le niveau de p_5. Ce dernier aurait dû augmenter son offre à hauteur de 26.715 pour atteindre le niveau de p_6.

En ce qui concerne la facturation en elle-même, deux cas peuvent apparaître : soit nous sommes en compétition, soit nous sommes en réquisition. La compétition correspond au cas où il y a assez de fournisseurs désirant faire la requête (offre supérieure à 0) pour pouvoir fournir n pairs à l'initiateur. La réquisition s'applique lorsqu'il n'y a pas assez de fournisseurs voulant faire la requête : le médiateur va alors imposer à certains de la faire. Mais, comme le médiateur ne souhaite pas pénaliser ceux qu'il réquisitionne, il partage le coût de la réquisition entre tous les pairs capables de traiter la requête, même les non sélectionnés. Afin de calculer la facturation, nous procédons par étape comme nous pouvons l'observer sur l'algorithme 1. Nous étudions ce que la sélection d'un pair i ($\in \widehat{\mathcal{P}_m^{req}}$) implique pour chacun des autres fournisseurs j ($\in \mathcal{P}_m^{req}$) (i compris) au travers du **paiement partiel**, noté $\vec{PP}[i,j]$. Nous faisons ceci pour chacun des pairs sélectionnés. Ensuite, le médiateur calcule le **paiement global** $\vec{TP}[j]$ de la facturation pour chacun des pairs j ($\in \mathcal{P}_m^{req}$). On constate qu'en compétition, le calcul du paiement partiel n'est pas nécessaire pour tous (car seuls les sélectionnés paieront quelque chose) mais nous l'effectuons tout de même dans le but d'homogénéiser les notations pour les deux modes de facturations.

3.4.2 Facturation en compétition

On se trouve en compétition lorsque plus de n fournisseurs ont fait une offre positive. Le montant de la facture d'un fournisseur sélectionné correspond à l'offre qu'il aurait dûe faire afin d'atteindre le niveau du premier non sélectionné, à savoir l'offre théorique correspondante. Comme expliqué précédemment, nous nous basons sur la vente aux enchères Vickrey généralisée : c'est pour cette raison que nous nous intéressons au $n+1^{ème}$ pour établir la facturation. Nous constatons qu'ici, seuls les pairs sélectionnés paient quelque chose.

Définition 3.5.
La facture partielle du fournisseur $j \in \mathcal{P}_m^{req}$ concernant la sélection de $i \in \mathcal{P}_m^{req}$ dans le cas où $\vec{B}[i] \geq 0$, est :

$$\vec{PP}[i,j] = \begin{cases} \vec{B}^{Th}(j, \vec{L}[\vec{R}[n+1]]) & \text{si } n < N \text{ et } i = j \text{ et } \vec{B}[\vec{R}[n+1]] \geq 0 \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

Dans le cas où le nombre de demandes n correspond exactement au nombre de fournisseurs ayant fait une offre positive, la facture de chacun est nulle comme l'illustre la table 3.1 pour la sélection s_2.

La méthode de paiement utilisée se réduit à une vente aux enchères Vickrey classique dans un cas particulier : le médiateur ne sélectionne qu'un seul pair en ne prenant pas en compte la qualité ($\omega = 1$) vu qu'elle n'intervient pas dans ce type d'enchères et ε est nul.

Théorème 3.3.
Si $n = 1$, $\omega = 1$, $\varepsilon = 0$ et $\forall i \in \mathcal{P}_m^{req}$, $\vec{B}[i] \geq 0$, alors nous sommes dans le cas d'une vente aux enchères Vickrey.

DÉMONSTRATION 3.4. *Nous sommes en compétition car tous les pairs ont fait une offre positive ou nulle, avec $n = 1$, $\omega = 1$ et $\varepsilon = 0$. Nous considérons que le pair sélectionné est le pair $i \in \mathcal{P}_m^{req}$ ($\vec{R}$ [1] = i), les autres pairs sont désignés par $j \in \mathcal{P}_m^{req} \setminus i$.*

- *Paiement de i :*
  La facturation du pair i pour sa propre sélection est alors la suivante (1er cas de la définition 3.5). Le rang du pair classé $n+1^{ème}$ est égal à 2.

$$\begin{aligned}
\vec{PP}[i,i] &= \vec{B}^{Th}(i, \vec{L}[\vec{R}[n+1]]) \\
&= \vec{B}^{Th}(1, \vec{L}[2]) \\
&= max(((\vec{L}[2])^{\frac{1}{\omega}}(\vec{Q}[1]+\varepsilon)^{\frac{(\omega-1)}{\omega}} - \varepsilon), 0) \\
D'où,\ avec\ \omega = 1\ et\ \varepsilon = 0, & \\
&= max(\vec{L}[2] \times (\vec{Q}[1])^0, 0) \\
&= max(\vec{L}[2], 0) \\
&= max((\vec{B}[2]+\varepsilon)^{\omega} \times (\vec{Q}[2]+\varepsilon)^{1-\omega}, 0) \\
&= max(\vec{B}[2], 0) \\
\textit{Or par hypothèse, nous savons que } \vec{B}[2] \geq 0, \textit{ d'où :} & \\
\vec{PP}[i,i] &= \vec{B}[2]
\end{aligned}$$

- *Paiement de j :*
  Les autres pairs ont une facture nulle car ils correspondent au cas 2 de la définition 3.5.

□

Dans le théorème précédent, nous n'avons considéré que des pairs ayant fait des offres positives car une offre négative dans une vente aux enchères n'aurait pas de sens. Au pire, on pourrait assimiler les offres négatives pouvant être faites à des offres nulles en vente aux enchères, se rapportant au cas 2 de la définition de toute manière. Ce théorème peut être étendu pour $n \neq 1$ (avec $n < N$) au cas de la vente aux enchères Vickrey généralisée [77].

3.4.3 Facturation en réquisition

On est en réquisition lorsque pour sélectionner les n fournisseurs, le médiateur est obligé de choisir au moins un pair ayant fait une offre négative. Dans ce cas, on dit que le médiateur impose à ce fournisseur de réaliser la requête contre sa volonté. Mais, pour ne pas pénaliser ce pair vis-à-vis des autres pairs, le médiateur répartit le coût de cette réquisition sur l'ensemble des participants capables de réaliser la requête, entraînant un dédommagement financier pour le pair réquisitionné. En effet, le médiateur n'a pas pour but de subventionner le pair réquisitionné, cette charge est déléguée sur tous les autres pairs.

Définition 3.6.
La facture partielle du fournisseur $j \in \mathcal{P}_m^{req}$ concernant la sélection de $i \in \mathcal{P}_m^{req}$ dans le cas où $\vec{B}[i] < 0$ est :

$$\vec{PP}[i,j] = \left| \begin{array}{ll} \dfrac{-\vec{B}^{Th}(i, \vec{L}[\vec{R}[min(n+2,N)]])}{N} & \textit{si } i \neq j \\ \vec{B}^{Th}(i, \vec{L}[\vec{R}[min(n+1,N)]]) - \dfrac{\vec{B}^{Th}(i, \vec{L}[\vec{R}[min(n+2,N)]])}{N} & \textit{sinon} \end{array} \right.$$

On peut se ramener à l'imposition équitable définie par Shoham et Tennenholtz [67] (section 1.2.6.2) lorsqu'on ne considère pas la qualité ($\omega = 1$), avec $n = 1$ et $\varepsilon = 0$.

Théorème 3.4. *Si $n = 1$, $\omega = 1$, $\varepsilon = 0$ et $\forall i \in \mathcal{P}_m^{req}, \vec{B}[i] < 0$, alors la médiation flexible correspond au processus "d'imposition équitable" tel que défini par Shoham et Tennenholtz [67].*

DÉMONSTRATION 3.5. *Dans le mécanisme d'imposition équitable présenté dans [67], le paiement est le suivant :*

- *Pour le pair sélectionné :* $\dfrac{\vec{B}[3]}{N} - \vec{B}[2]$

- *Pour les autres pairs :* $\frac{\vec{B}[3]}{N}$

Cependant, vu que ce mécanisme se base sur les coûts, concernant la médiation flexible, nous devons arriver au paiement opposé.

Nous considérons que le pair sélectionné est le pair $i \in \mathcal{P}_m^{req}$ *(* $\vec{R}$ *[1]=i), les autres pairs seront désignés par* $j \in \mathcal{P}_m^{req} \setminus i$.

- *Paiement de* i *:*

$$\begin{aligned}
\vec{PP}[i,i] &= \vec{B}^{Th}(i,\vec{L}[\vec{R}[min(n+1,N)]]) - \frac{\vec{B}^{Th}(i,\vec{L}[\vec{R}[min(n+2,N)]])}{N} \\
&= \vec{B}^{Th}(1,\vec{L}[2]) - \frac{\vec{B}^{Th}(1,\vec{L}[3])}{N} \\
&= -max(((-\vec{L}[2])^{\frac{1}{\omega}}(\vec{Q}[1]+\varepsilon)^{\frac{(\omega-1)}{\omega}} - \varepsilon),0) - \frac{-max(((-\vec{L}[3])^{\frac{1}{\omega}}(\vec{Q}[1]+\varepsilon)^{\frac{(\omega-1)}{\omega}} - \varepsilon),0)}{N}
\end{aligned}$$

$D'où,\ avec\, \omega = 1\ et\ \varepsilon = 0,$

$$\begin{aligned}
&= -max((-\vec{L}[2]) \times (\vec{Q}[1])^0,0) - \frac{-max(((-\vec{L}[3]) \times (\vec{Q}[1])^0),0)}{N} \\
&= -max(-\vec{L}[2],0) + \frac{max(-\vec{L}[3],0)}{N} \\
&= -max(-(-(-\vec{B}[2]+\varepsilon)^{\omega} \times (\vec{Q}[2]+\varepsilon)^{\omega-1}),0)+ \\
&\quad \frac{max(-(-(-\vec{B}[3]+\varepsilon)^{\omega} \times (\vec{Q}[3]+\varepsilon)^{\omega-1}),0)}{N} \\
&= -max(-\vec{B}[2] \times (\vec{Q}[2])^0,0) + \frac{max(-\vec{B}[3] \times (\vec{Q}[3])^0,0)}{N} \\
&= -max(-\vec{B}[2],0) + \frac{max(-\vec{B}[3],0)}{N}
\end{aligned}$$

$Or,\ \vec{B}[2]\ et\ \vec{B}[3] < 0$

$$\vec{PP}[i,i] = \vec{B}[2] - \frac{\vec{B}[3]}{N}$$

- *Paiement de* j *: sur le même raisonnement que celui utilisé pour le calcul du paiement de* i*, nous obtenons :*

$$\begin{aligned}
\vec{PP}[i,j] &= -\frac{\vec{B}^{Th}(i,\vec{L}[\vec{R}[min(n+2,N)]])}{N} \\
\vec{PP}[i,j] &= -\frac{\vec{B}[3]}{N}
\end{aligned}$$

□

3.4.4 Facturation globale

Une fois que le médiateur a calculé pour chaque pair sa facture partielle pour chacun des sélectionnés, il fait la somme de toutes les factures partielles. Il obtient alors la facturation globale pour chaque fournisseur.

Définition 3.7.
La facturation globale d'un fournisseur $j \in \mathcal{P}_m^{req}$ *est définie par :*

$$\vec{TP}[j] = \sum_{i \in [1..min(n,N)]} \vec{PP}[i,j]$$

Proposition 3.3. *La complexité de l'étape de facturation est en* $\Theta(N \times min(n,N))$.

DÉMONSTRATION 3.6. *Comme on peut le voir sur l'algorithme 1, la partie facturation est composée de deux boucles* pour *imbriquées. Elles possèdent une taille différente. La principale boucle fait* N *tours alors que la seconde exécute le nombre de tours correspondant à la taille de la sélection. La taille de la sélection est de* n *si* $n < N$*,* N *sinon. On considère donc que le second* pour *a un coût de* $min(n,N)$.

On aboutit bien à une complexité en $\Theta(N \times min(n,N))$. □

Nous notons qu'une optimisation est possible pour le mode compétition pour lequel, nous pourrions calculer seulement la facture des sélectionnés (complexité en $\Theta(min(n,N))$.

Dans la table 3.1, on présente différentes sélections accompagnées de leur facturation. Les sélections s_1 et s_2 correspondent à des compétitions, les deux autres à des réquisitions. Dans la sélection s_1 où $n = 4$, les fournisseurs retenus sont : p_1, p_6, p_8 et p_4. On constate bien que seuls ces quatre pairs paient une facture. Dans la sélection s_2, le nombre de pairs désirant faire la requête correspond exactement au nombre de fournisseurs demandés par l'initiateur : dans ce cas, la facturation est nulle pour tous. Dans la sélection s_3 où $n = 7$, le médiateur réquisitionne le pair p_{10}. Le coût de la réquisition est supportée par tous pour un montant de 1.283. En ce qui concerne le pair réquisitionné, il paie aussi cette part de soutien (même si ce soutien lui est destiné) afin d'être solidaire envers les autres mais il reçoit surtout un dédommagement à hauteur de 7.231. La sélection s_4 montre un exemple où tous les pairs sont sélectionnés et où il y a quatre réquisitions, supportées par tous. On constate que le paiement pour la réquisition de chacun n'est pas le même : c'est dû au fait que les pairs n'ont pas tous la même qualité alors que celle-ci intervient dans le calcul de l'offre théorique.

Une propriété intéressante sur la facturation globale est que, dans un cas de compétition, un fournisseur ne paie jamais plus que l'offre qu'il a faite.

Théorème 3.5.
Soit req *une requête,* $\mathcal{P}_m^{req}$ *l'ensemble des fournisseurs capables de répondre à la requête* req.
Si $N > n$ *et* $\vec{B}[\vec{R}[n+1]] \geq 0$ *alors* $\forall i \in \mathcal{P}_m^{req}, \vec{TP}[i] \leq \vec{B}[i]$

DÉMONSTRATION 3.7.
Étant donné que le premier pair non sélectionné a fait une offre positive ($\vec{B}[\vec{R}[n+1]] \geq 0$*), nous sommes bien dans l'hypothèse d'une compétition.*

D'après les définitions 3.5 et 3.7 si le fournisseur i *n'a pas obtenu la requête, il ne paie rien :* $\vec{TP}[i] = 0$*. Dans ce cas, le résultat est trivialement vérifié.*

Toujours d'après les mêmes définitions, si le fournisseur i *a obtenu la requête, sa facturation globale* $\vec{TP}[i]$ *vaut* $\vec{B}^{Th}(i, \vec{L}[\vec{R}[n+1]])$*. Or, comme* $\vec{L}[\vec{R}[n+1]] \leq \vec{L}[i]$ *et que la fonction* $\vec{B}^{Th}$ *est croissante,* $\vec{B}^{Th}(i, \vec{L}[\vec{R}[n+1]]) \leq \vec{B}^{Th}(i, \vec{L}[i])$ *avec* $\vec{B}^{Th}(i, \vec{L}[i]) = \vec{B}[i]$*. Donc,* $\vec{TP}[i] \leq \vec{B}[i]$ □

Le médiateur n'a pas pour but de perdre ou de gagner de l'argent lors d'une médiation, que ce soit lors d'une compétition ou d'une réquisition. Dans ce dernier cas, le dédommagement procuré au(x) fournisseur(s) réquisitionné(s) est supporté par l'ensemble des pairs capables de réaliser la requête et non par le médiateur. La propriété suivante prouve que le médiateur ne subventionne pas les réquisitionnés, ce qui implique qu'il ne peut pas perdre d'argent mais qu'il peut par contre en gagner.

Propriété 3.1. *Non déficit du médiateur*
Quels que soient la requête req et l'ensemble $\mathcal{P}_m^{req}$ des fournisseurs aptes à réaliser la requête, le médiateur ne présente pas de déficit dans son budget, i.e. :

$$\sum_{j \in \mathcal{P}_m^{req}} \vec{TP}[j] \geq 0$$

Nous nous situons dans cette propriété, du point de vue du médiateur, ce qui explique que la facturation globale soit positive ou nulle. Ainsi, lorsque la facture est négative, il donne de l'argent au fournisseur concerné, sinon, il reçoit de l'argent de la part des fournisseurs.

DÉMONSTRATION 3.8.

1. *En compétition :*
   Vu la formule de paiement réalisée en compétition, on constate facilement que le médiateur n'a fait que recevoir de l'argent de la part des pairs sélectionnés. Il est trivial de voir que la propriété est respectée.
2. *En réquisition :*
   D'après la définition 3.6, la somme des transactions effectuées pour la réquisition d'un pair i est égale à :

$$\begin{aligned}
\sum_{j \in \mathcal{P}_m^{req}} \vec{PP}[i,j] &= \vec{B}^{Th}(i, \vec{L}[\vec{R}[min(n+1,N)]]) - \frac{\vec{B}^{Th}(i, \vec{L}[\vec{R}[min(n+2,N)]])}{N} \\
&\quad -(N-1) * \frac{\vec{B}^{Th}(i, \vec{L}[\vec{R}[min(n+2,N)]])}{N} \\
&= \vec{B}^{Th}(i, \vec{L}[\vec{R}[min(n+1,N)]]) - \vec{B}^{Th}(i, \vec{L}[\vec{R}[min(n+2,N)]])
\end{aligned}$$

Or, par définition, on sait que $\vec{L}[\vec{R}[min(n+2,N)]] \leq \vec{L}[\vec{R}[min(n+1,N)]]$ et comme la fonction $\vec{B}^{Th}$ est croissante, on a :

$$\vec{B}^{Th}(i, \vec{L}[\vec{R}[min(n+2,N)]]) \leq \vec{B}^{Th}(i, \vec{L}[\vec{R}[min(n+1,N)]])$$

Donc,

$$\vec{B}^{Th}(i, \vec{L}[\vec{R}[min(n+1,N)]]) - \vec{B}^{Th}(i, \vec{L}[\vec{R}[min(n+2,N)]]) \geq 0$$

La somme des facturations partielles pour la réquisition d'un pair est donc positive. Si plusieurs fournisseurs sont sélectionnés et imposés, la facturation globale est donc elle aussi positive vu que l'on réalise une somme sur l'ensemble des facturations. □

La table 3.2 illustre le fait que pour les quatre sélections présentées dans la table 3.1, le gain du médiateur est positif ou nul. Même dans un cas extrême tel que la sélection s_4 où il a sélectionné tout le monde, même ceux ne désirant pas réaliser la requête, nous observons bien que son gain est nul : il n'a donc rien perdu.

	s_1	s_2	s_3	s_4
Gain du médiateur	5.377	0.0	4.316	0.0

Table 3.2 – Exemples de gain du médiateur de la médiation flexible

3.5 Comparaison avec d'autres mécanismes

Nous avons retenu dans la section 1.4, cinq travaux pour leur pertinence sur le problème de la prise en compte conjointe du point de vue des initiateurs et des fournisseurs. Nous réalisons maintenant une comparaison de la médiation flexible avec ces cinq mécanismes. Nous rappelons que les points de comparaison se font sur :

- les entrées et sorties des mécanismes,
- les fonctionnalités offertes à l'initiateur de requêtes,
- les caractéristiques du fournisseur.

Nous tenons à faire remarquer que certains des mécanismes ne donnent pas de précision sur tous les critères de comparaison que nous utilisons, dans ce cas, nous laissons la case correspondante dans le tableau, vide.

3.5.1 Entrées et sorties des mécanismes

Nous rappelons que l'étude des entrées et sorties des mécanismes, illustrée par la table 3.3, a pour but de nous permettre de mieux identifier les bases de chaque mécanisme et en particulier, sur quels critères se fait la sélection.

Nous pouvons tout d'abord remarquer que la médiation flexible, comme tous les autres mécanismes, produit en sortie une allocation et une facturation, ce qui constitue la base d'une médiation comme nous l'avons présenté dans la définition 2.6.

Ensuite, nous constatons que notre médiation prend en entrée les offres et les qualités des fournisseurs, tout comme les deux mécanismes qui la précèdent [31, 45] dans la table 3.3. Comme nous l'avons déjà introduit, le fait d'utiliser les offres des fournisseurs permet à ces derniers d'indiquer leur intérêt pour la requête courante, contrairement aux coûts utilisés dans [71, 21, 59]. En effet, avec ces mécanismes, si la requête intéresse un fournisseur mais que son coût est trop élevé, il ne pourra pas l'obtenir et en plus, il n'a pas la possibilité de traduire l'intérêt qu'il porte malgré tout à cette requête. Nous pouvons également indiquer que, puisque les offres peuvent être positives ou négatives dans la médiation flexible, nous permettons aux fournisseurs d'exprimer plus précisément que les autres mécanismes, leurs intentions car ils peuvent librement indiquer leur désintéressement à traiter la requête.

3.5.2 Fonctionnalités offertes aux initiateurs de requêtes

Nous rappelons les critères d'étude que nous avons retenus au sujet de l'initiateur dans la table 3.4. L'initiateur peut avoir la possibilité d'occuper simultanément le rôle de médiateur et d'initiateur selon les mécanismes. Ensuite, combien de réponses il peut obtenir. En effet, lorsqu'il pose une requête, il est normal qu'il obtienne le nombre de réponses qu'il désire et que ce nombre ne soit pas nul (*nombre de pairs par requête*). Si aucune réponse ne peut être fournie (*requête nécessairement traitée*), cela peut poser problème car l'initiateur ne sera pas satisfait. De plus, nous allons examiner si l'initiateur peut fournir son opinion sur d'une part les réponses qu'il a obtenu (*retour d'opinion sur la réponse*) et d'autre

	Entrées	**Sorties**
Plateforme Mariposa [71, 72]	• coût • le budget de l'initiateur de requêtes • temps d'exécution prévu • temps de validité des offres	• allocation • facturation
Conception de mécanisme basé sur la confiance [21]	• coût • évaluation • probabilité de succès des pairs	• allocation • facturation
Conception de mécanisme dans un contexte incertain [59]	• coût • probabilité d'échec	• allocation • facturation
Modèle agents basé sur la confiance [31]	• préférences • confiance • profits attendus	• allocation • distribution des profits
Mécanisme de vente aux enchères permettant des revenus et une efficacité optimaux [45]	• offre • seuil de réserve de l'initiateur de requêtes	• allocation • facturation
La médiation flexible	• offre • qualité	• allocation • facturation

Table 3.3 – Comparaison des entrées et sorties des mécanismes

part sur les pairs eux-mêmes (*retour d'opinion sur les pairs*) afin de savoir si les réponses pourraient être améliorées par la suite.

Dans la présentation que nous avons réalisée de la médiation flexible, nous avons séparé le rôle de l'initiateur et celui du médiateur afin de comprendre plus facilement qui doit faire quelles actions. Mais nous pourrions tout à fait envisager que ces rôles soient regroupés en une seule entité, grâce à notre hypothèse selon laquelle les pairs peuvent occuper plusieurs rôles simultanément. Dans notre médiation, l'initiateur peut demander n fournisseurs au médiateur, tout comme [45]. Cette fonctionnalité possède un avantage par rapport aux quatre autres mécanismes qui n'en disposent pas car elle permet à l'initiateur d'avoir un plus grand choix pour obtenir des réponses pertinentes. De plus, par le mécanisme de réquisition de la médiation flexible, nous garantissons à l'initiateur qu'il aura le nombre de fournisseurs qu'il a demandé pour sa requête, dans la limite du nombre de pairs présents bien sûr. Seul le processus de Gorobets *et al.* [31] propose également cette fonctionnalité pourtant si importante car si l'initiateur demande un certain nombre de réponses, c'est que nécessairement, il en a besoin. Alors, si le mécanisme utilisé ne permet pas de satisfaire ce critère, cela peut amener le mécontentement de l'initiateur et sa motivation à ne plus participer au mécanisme.

La médiation flexible propose les deux fonctionnalités de retours d'opinion sur les réponses et sur les pairs. Cela correspond à la manière de prendre en compte la qualité et ainsi, l'avis des initiateurs. Ils ont la possibilité de donner leur opinion sur le travail produit par chaque fournisseur pour chaque type de requête. Cette fonctionnalité correspond même à la base de la définition de la qualité utilisée par le médiateur pour réaliser ses sélections.

	Possibilité de jouer le rôle de médiateur ?	**Nombre de pairs fournis par requête**	**Requête nécessairement traitée *(dans la limite du nb de pairs disponibles)***	**Retour d'opinion sur la réponse**	**Retour d'opinion sur les fournisseurs**
Plateforme Mariposa [71, 72]	-	1	-		
Conception de mécanisme basé sur la confiance [21]	-	1		×	×
Conception de mécanisme dans un contexte incertain [59]	×	1	-		
Modèle agents basé sur la confiance [31]	×	1	×	-	×
Mécanisme de vente aux enchères permettant des revenus et une efficacité optimaux [45]	×	n	-	-	-
La médiation flexible	×	n	×	×	×

Légende

case "×"	case "-"	case vide
le mécanisme remplit la condition	il ne remplit pas la condition	aucune information disponible

Table 3.4 – Comparaison des fonctionnalités offertes aux initiateurs de requêtes

3.5.3 Possibilités offertes aux fournisseurs dans les mécanismes étudiés

Au niveau des fournisseurs, plusieurs caractéristiques sont importantes à observer comme le montre la table 3.5. Ainsi, il est intéressant d'étudier si les fournisseurs ont des informations privées telles que l'évaluation qu'ils font de la requête, leur schéma de base de données..., leur manière d'indiquer ce qu'ils désirent auprès du médiateur (coût, préférences) et enfin, savoir si les fournisseurs ont la possibilité de refuser de traiter la requête, avant et après que celle-ci ait été allouée.

Comme la majorité des autres mécanismes, les fournisseurs de la médiation flexible disposent d'informations privées telles que les requêtes qu'ils désirent traiter, leur charge. Ces informations privées leur sont utiles pour déterminer l'offre qu'ils vont réaliser comme nous avons pu le voir dans la section 2.14. Dans la table 3.5, nous avons représenté les offres par les préférences des fournisseurs car en effet, les offres reviennent à traduire les préférences que les pairs ont sur les requêtes.

La médiation flexible laisse la possibilité à un fournisseur de refuser une requête lorsque celle-ci lui est proposée en faisant une offre très négative. Ainsi, celui-ci a très peu de chance d'être sélectionné. Par contre, il ne peut pas tout simplement dire qu'il ne veut pas la faire, il faut tout de même qu'il s'exprime sur la requête lorsqu'il sait la réaliser. Deux autres mécanismes [71, 59] permettent également

	Informations privées non accessibles aux autres pairs	**Expression de l'avis du pair sur la requête via**	**Il peut refuser la requête lorsqu'elle lui est proposée**	**Il doit traiter la requête une fois allouée**
Plateforme Mariposa [71, 72]	-	coût	×	-
Conception de mécanisme basé sur la confiance [21]	×	coût		
Conception de mécanisme dans un contexte incertain [59]	×	coût		×
Modèle agents basé sur la confiance [31]	-	préférences	×	×
Mécanisme de vente aux enchères permettant des revenus et une efficacité optimaux [45]	×	préférences		
La médiation flexible	×	préférences	×	×

Légende

case "×"	case "-"	case vide
le mécanisme remplit la condition	il ne remplit pas la condition	aucune information disponible

Table 3.5 – Comparaison des possibilités offertes aux fournisseurs

cette fonctionnalité tandis que les trois autres ne fournissent pas d'information sur cette partie de leur fonctionnement. Enfin, une fois que la requête a été allouée à un fournisseur de la médiation flexible, celui-ci n'a plus la possibilité de la refuser, ceci dans le but de satisfaire l'initiateur vu que notre médiation lui garantit d'obtenir le nombre de pairs demandés.

3.6 Propriétés de la médiation flexible

Nous nous intéressons ici aux propriétés économiques et sociales que la médiation flexible peut avoir. Ainsi, nous étudions les propriétés de **Pareto optimalité**, d'***incentive compatible***, de **rationalité individuelle** et d'**équilibre budgétaire**. Ces différentes propriétés ont été définies dans la section 1.2.5.3. Dans la section 2.1.2, nous avons évoqué l'idée d'étudier le processus sur une période plus longue qu'une seule médiation : nous appelons les propriétés concernées des **propriétés à long terme**. En effet, si l'on étudie un mécanisme pour un instant donné ou si on l'étudie dans sa longévité, les impacts ne seront pas les mêmes vis-à-vis des comportements de chacun.

3.6.1 Propriétés sur un tour

Les propriétés sur un tour sont importantes dans le sens qu'elles garantissent certaines caractéristiques à la médiation, indépendemment de son environnement d'exécution.

3.6.1.1 Pareto optimalité

La propriété de **Pareto optimalité** a été présentée dans la définition 1.14 : "Un résultat est Pareto optimal s'il n'existe pas un autre résultat tel qu'au moins un pair soit mieux (en termes d'utilité) alors que les autres ne sont pas moins bien". Elle est importante car elle permet d'affirmer qu'un processus fournit une meilleure solution possible pour le problème posé. Elle étudie **le bien-être social** de tous les protagonistes du processus. Le fait de parler de bien-être social implique que l'on s'intéresse non seulement aux pairs appartenant à la sphère économique (médiateur et représentants), mais aussi à ceux de la sphère d'influence directe (initiateurs et fournisseurs). En regardant l'utilité de tous les acteurs (section 3.1.1 et section 2.2), nous arrivons à prouver que notre système nous donne une solution parmi les plus satisfaisantes pour tous. Nous proposons une démonstration détaillée de la propriété de Pareto optimalité de la médiation flexible. Elle a été présentée succinctement dans [41].

Théorème 3.6. *Le résultat ($\vec{alloc}$, $\vec{bill}$) d'une médiation flexible est Pareto optimal.*

Notations

Tous les fournisseurs dont la valeur est égale à 1 dans le vecteur $\vec{alloc}$ appartiennent à S, la sélection correspondante aux pairs sélectionnés classés selon leur rang dans le résultat initial de la médiation flexible. Voici quelques notations supplémentaires que nous avons utilisées dans la démonstration :

N^+ (resp. N^-) :	nombre de fournisseurs ayant proposé une offre positive (resp. négative),
S_i :	sélection où i fournisseurs ont été changés par rapport à la sélection initiale S,
p^i :	fournisseur p de rang i dans la sélection initiale S,
$\vec{TP}^j[r]$:	facture globale que le représentant r devra payer (ou recevoir) dans la sélection S_j,
u^j_{pe} :	utilité du pair pe dans la sélection S_j,
$[p' \ / \ p]$:	fournisseur p est remplacé par le fournisseur p',
p_{a+1} (resp. p'_{a+1}) :	fournisseur enlevé (resp. ajouté) de la sélection S_a par rapport à la sélection S_{a+1}.

Nous pouvons maintenant reformuler la définition 1.14 pour l'exprimer en termes logiques :
Il n'existe aucun pair qui soit mieux (au niveau de l'utilité) tandis que les autres ne sont pas moins bien
ou alors $\neg(\exists\, p\ (\forall i \in [1,..,N-n+1]\ (u^i_p\ >\ u_p \wedge \forall\, p'\ ,\ p'\ \neq\ p, u^i_{p'}\ \geq\ u_{p'})))$
ou encore $\forall\, p\ (\forall i \in [1,..,N-n+1]\ (u^i_p\ \leq\ u_p \vee \exists\, p'\ ,\ p' \neq p, u^i_{p'}\ <\ u_{p'}))$

DÉMONSTRATION 3.9. *L'étude de Pareto optimalité que nous allons mener se déroule en deux étapes : au niveau de la sélection tout d'abord puis au niveau de la facturation. En effet, nous devons étudier ces deux cas afin de prouver qu'il n'existe pas de meilleur résultat possible à la médiation flexible.*

Sélection

À ce niveau de l'étude, le médiateur n'intervient pas. En effet, les autres rôles de pairs (initiateur, fournisseur, représentant) suffisent à montrer que la sélection est Pareto optimale.

Hypothèse initiale

Soit S_a une sélection où a fournisseurs ont été changés par rapport à la sélection initiale S. Lorsque nous échangeons les fournisseurs, indirectement leurs représentants sont affectés. La démonstration est basée sur une récurrence sur a.

Au rang $a = 1$, nous remplaçons un fournisseur p par un fournisseur p' (noté $S_1 = S[p' \ / \ p]$). Nous introduisons la notation $\mathcal{R}_m^{req}$ qui désigne les représentants de l'ensemble $\mathcal{P}_m^{req}$ des fournisseurs capables de réaliser la requête req. Notre hypothèse de récurrence est :

HR *: pour un a donné ($a < n$), toute sélection $S_a = S[p'_1 \ / \ p_1][p'_2 \ / \ p_2] \ldots [p'_a \ / \ p_a]$ est moins bonne que S i.e. : $\exists pe \in \mathcal{P}_m^{req} \cup \mathcal{R}_m^{req} \cup \{us\}$ tel que $u_{pe} > u_{pe}^a$*

Nous voulons montrer que si on change $a+1$ fournisseurs de S ($S_{a+1} = S_p[p'_{a+1} \ / \ p_{a+1}]$), il existe toujours un pair dont l'utilité est meilleure au sens strict dans la sélection initiale S tandis que l'utilité des autres pairs n'est pas moins bonne. Nous remarquons que dans cette démonstration, la récurrence n'est pas toujours de mise mais, pour généraliser la structure de la démonstration, nous l'avons posée globalement.

Pour la preuve, il existe différents cas de figures à étudier :

- *cas de compétition pure : le médiateur dispose d'assez de fournisseurs voulant réaliser la requête pour ne pas en réquisitionner d'autres,*
- *cas de réquisition pure : il n'y a que de fournisseurs ne voulant pas faire la requête,*
- *cas de compétition en présence de pairs réquisitionnables,*
- *cas de transition où tous les compétiteurs sont sélectionnés et tous les réquisitionnables non,*
- *cas de réquisition en présence de compétiteurs,*
- *cas où tous les pairs sont sélectionnés.*

Nous considérons ici que les représentants ont un solde suffisant afin de ne pas limiter leur offre. Ainsi, l'évaluation qu'ils font sur une requête correspond à l'offre qu'ils ont réalisée.

La preuve

Cas de compétition pure : $N > n$ ***;*** $N^+ = N$ ***;*** $N^- = 0$

*** `Au pas a = 1 :`

Nous changeons un fournisseur quelconque p de la sélection initiale S par le fournisseur p'.

1. *Nous supposons $v_p > 0$*
   $\forall p \in S, p \neq p', u_p = v_p$ et $u^1_{p'} = -v_{p'}$ d'où : $u_p > u^1_{p'}$
   Le fournisseur p préférait la sélection S à la sélection S_1.
2. *Nous supposons maintenant $v_p = 0$*
   Comme nous sommes en compétition pure, $\forall p_i$ dont $\vec{R}\,[p_i] > \vec{R}\,[p]$, $\vec{B}[p_i] = 0$
   Trois cas se présentent :
   (a) *Nous supposons $\vec{Q}(p) > \vec{Q}(p_i)\ \forall p_i \neq p$ dont $\vec{R}\,[p_i] > \vec{R}\,[p]$*
   D'où $\vec{Q}(p) > \vec{Q}(p')$
   Par définition : $u_{us} = \dfrac{\sum_{p_i \in S, p_i \neq p} \vec{Q}(p_i) + \vec{Q}(p)}{N}$ et $u^1_{us} = \dfrac{\sum_{p_i \in S, p_i \neq p} \vec{Q}(p_i) + \vec{Q}(p')}{N}$
   Donc $u_{us} > u^1_{us}$
   (b) *Nous supposons les qualités égales $\forall p_i$ dont $\vec{R}\,[p_i] \geq \vec{R}\,[p]$.*
   Le classement des fournisseurs se fait sur la comparaison de leurs noms vu que leurs offres sont également nulles. On s'intéresse ici à l'utilité des représentants.

$$u_{r'} = -\vec{TP}[r'] = 0 \ \ et \ \ u^1_{r'} = v_{r'} - \vec{TP}^1[r'] = 0 - \vec{TP}^1[r']$$

Or, $\vec{TP}^1[r'] = \varepsilon^\omega * (\vec{Q}[r'] + \varepsilon)^{1-\omega} > 0$. *D'où,* $u^1_{r'} = -\vec{TP}^1[r'] < 0$
Nous arrivons donc à $u_{r'} > u^1_{r'}$
Le fournisseur r*' préfère donc la sélection initiale* S.

(c) *Nous supposons* $\vec{Q}(p) < \vec{Q}(p_i)\ \forall p_i \neq p$ *dont* $\vec{R}\,[p_i] > \vec{R}\,[p]$
Cas impossible car p*' aurait appartenu à la sélection initiale* S.

*** `Au pas a+1 (≤ n) quelconque :`

Maintenant, pour $a+1$ *fournisseurs, nous avons la sélection* S_{a+1}. *La facture d'un fournisseur sélectionné en compétition se fait toujours selon sa* $\vec{PP}$ *calculée à partir du* 1er *fournisseur non sélectionné (i.e.* p_{n+1}*). Donc, un fournisseur sélectionné dans* S *et non sélectionné dans* S_a *préfère* S *à* S_a *: c'est le pair mécontent recherché dans l'hypothèse de récurrence. Dans le cas de la sélection* S_{a+1}*, il préfère encore* S *à* S_{a+1} *car il n'est toujours pas sélectionné dans* S_{a+1}.

Cas de réquisition pure : $N > n$ ***;*** $N^+ = 0$ ***;*** $N^- = N$

*** `Au pas a = 1 :`

Prenons un fournisseur quelconque p *de la sélection initiale* S *et remplaçons le par le fournisseur* p*'.*

1. *Nous supposons* $\vec{Q}[p] > \vec{Q}[p']$
   On se ramène ici au cas de compétition pure au pas a=1, dans le point 2(a). C'est l'initiateur qui est pénalisé dans S_1.
2. *Supposons* $\vec{Q}[p] \leq \vec{Q}[p']$
   On travaille ici avec les représentants.

$$\forall r_i \notin S, \text{avec } r_i \neq r \neq r', u_{r_i} = -\vec{TP}[r_i] \ \ et \ \ u^1_{r_i} = -\vec{TP}^1[r_i]$$

Nous voulons montrer que la sélection S_1 *est meilleure que la sélection initiale. D'où :*

$$\begin{array}{rcl}
u_{r_i} & \leq & u^1_{r_i} \\
-\vec{TP}[r_i] & \leq & -\vec{TP}^1[r_i] \\
\dfrac{-\sum_{r_j \in S \setminus r} \vec{B}^{Th}(r_j, \vec{L}[\vec{R}[n+2]])}{N} - \dfrac{\vec{B}^{Th}(r, \vec{L}[\vec{R}[n+2]])}{N} & \geq & -\dfrac{\sum_{r_j \in S_1 \setminus r'} \vec{B}^{Th}(r_j, \vec{L}[\vec{R}[n+2]])}{N} - \dfrac{\vec{B}^{Th}(r', \vec{L}[\vec{R}[n+2]])}{N} \\
\dfrac{\vec{B}^{Th}(r, \vec{L}[\vec{R}[n+2]])}{N} & \leq & \dfrac{\vec{B}^{Th}(r', \vec{L}[\vec{R}[n+2]])}{N} \\
-max((-\vec{L}[\vec{R}[n+2]])^{\frac{1}{\omega}} * (\vec{Q}[r] + \varepsilon)^{\frac{1-\omega}{\omega}} - \varepsilon, 0) & \leq & -max((-\vec{L}[\vec{R}[n+2]])^{\frac{1}{\omega}} * (\vec{Q}[r'] + \varepsilon)^{\frac{1-\omega}{\omega}} - \varepsilon, 0)
\end{array}$$

On peut supprimer la fonction max car la première partie du calcul est positive ou nulle.

$$\begin{array}{rcl}
(-\vec{L}[\vec{R}[n+2]])^{\frac{1}{\omega}} * (\vec{Q}[r] + \varepsilon)^{\frac{1-\omega}{\omega}} - \varepsilon & \geq & (-\vec{L}[\vec{R}[n+2]])^{\frac{1}{\omega}} * (\vec{Q}[r'] + \varepsilon)^{\frac{1-\omega}{\omega}} - \varepsilon \\
(\vec{Q}[r] + \varepsilon)^{\frac{1-\omega}{\omega}} & \geq & (\vec{Q}[r'] + \varepsilon)^{\frac{1-\omega}{\omega}}
\end{array}$$

Or par hypothèse, nous savons que $\vec{Q}[r] \leq \vec{Q}[r']$ *et comme* $x \xmapsto{f} x^{\frac{1-\omega}{\omega}}$ *est croissante sur* $\mathbb{R}$*, on en déduit que :*

$$(\vec{Q}[r] + \varepsilon)^{\frac{1-\omega}{\omega}} \leq (\vec{Q}[r'] + \varepsilon)^{\frac{1-\omega}{\omega}}$$

Nous sommes donc en présence d'une contradiction. Nous avons réussi à démontrer que $\forall r_i \notin S$, *avec* $r_i \neq r \neq r'$, $u_{r_i} > u^1_{r_i}$.

*** `Au pas a+1 (≤ n) quelconque :`

D'après l'hypothèse de récurrence, $\exists pe \in \mathcal{P}^{req}_m \cup \mathcal{R}^{req}_m \cup \{us\}$ *tel que* $u_{pe} > u^a_{pe}$. *Ce pair* pe *peut avoir différentes fonctions. Il peut être l'initiateur* us *ou lorsque c'est un fournisseur ou un représentant, appartenir ou non à trois ensembles particuliers :* S, S_a, S_{a+1}. *Il existe différents cas à étudier. Nous allons les énumérer un à un.*

1. *L'initiateur*
   Nous savons par l'hypothèse de récurrence que

$$\begin{array}{rcl} u_{us} & > & u^a_{us} \\ \dfrac{\sum_{p_j \in S} \vec{Q}[p_j]}{N} & > & \dfrac{\sum_{p_k \in S_p} \vec{Q}[p_k]}{N} \end{array}$$

   Par définition, nous savons que : $u^{a+1}_{us} = \dfrac{\sum_{p_k \in S_p} \vec{Q}[p_k] - \vec{Q}[p_{a+1}] + \vec{Q}[p'_{a+1}]}{N}$.

   Deux cas d'études se présentent alors :
   - *soit* $\vec{Q}[p_{a+1}] \geq \vec{Q}[p'_{a+1}]$ *: dans ce cas, il est évident de voir que* $u_{us} > u^{a+1}_{us}$.
   - *soit* $\vec{Q}[p_{a+1}] < \vec{Q}[p'_{a+1}]$ *: ce cas sera traité dans l'ensemble des cas qui vont suivre et constituera une condition pour l'étude.*

2. $p_k \in (S \cap S_a \cap S_{a+1})$ *et* $p_i \notin (S \cup S_a \cup S_{a+1})$
   Ces deux cas sont liés, c'est pour cette raison que nous avons décidé de les regrouper. Le premier correspond au cas où le fournisseur p_k *est toujours sélectionné, le second au cas où le fournisseur* p_i *ne l'est jamais. Ici, nous allons nous intéresser aux représentants et plus particulièrement au cas de* r_i, *qui n'a pas été sélectionné.*

   D'après l'hypothèse de récurrence, $u_{r_i} > u^a_{r_i}$. *On change un représentant de plus (*$[r'_{a+1} \ / \ r_{a+1}]$*). Si cette nouvelle sélection est meilleure pour ce représentant, nous avons :*

$$\begin{array}{rcl} u_{r_i} & \leq & u^{a+1}_{r_i} \\ -\vec{TP}[r_i] & \leq & -\vec{TP}^{a+1}[r_i] \\ \vec{TP}[r_i] & \geq & \vec{TP}^{a+1}[r_i] \end{array} \tag{3.1}$$

   Or, on sait que :

$$\begin{array}{rcll} \vec{TP}^{a+1}[r_i] & = & \displaystyle\sum_{r_j \in S_{a+1}} \vec{PP}[r_i, r_j] & \\ & = & \vec{TP}^{a}[r_i] - \vec{PP}[r_i, r_{a+1}] + \vec{PP}[r_i, r'_{a+1}] & (3.2) \\ \textit{On a donc en combinant (3.1) et (3.2) :} \vec{TP}[r_i] & \geq & \vec{TP}^{a}[r_i] - \vec{PP}[r_i, r_{a+1}] + \vec{PP}[r_i, r'_{a+1}] & (3.3) \end{array}$$

Or r_i n'est pas sélectionné dans S_{a+1}, d'où :

$$\begin{aligned}
\vec{PP}[r_i, r_{a+1}] &= \frac{-\vec{B}^{Th}(r_{a+1}, \vec{L}[\vec{R}[n+2]])}{N} \\
&= \frac{max((-\vec{L}[\vec{R}[n+2]])^{\frac{1}{\omega}} * (\vec{Q}[r_{a+1}] + \varepsilon)^{\frac{1-\omega}{\omega}} - \varepsilon, 0)}{N} \\
&= \frac{(-\vec{L}[\vec{R}[n+2]])^{\frac{1}{\omega}} * (\vec{Q}[r_{a+1}] + \varepsilon)^{\frac{1-\omega}{\omega}} - \varepsilon}{N} \\
\textit{De même, } \vec{PP}[r_i, r'_{a+1}] &= \frac{(-\vec{L}[\vec{R}[n+2]])^{\frac{1}{\omega}} * (\vec{Q}[r'_{a+1}] + \varepsilon)^{\frac{1-\omega}{\omega}} - \varepsilon)^{\frac{1-\omega}{\omega}} - \varepsilon}{N}
\end{aligned}$$

En revenant à l'inéquation (3.3)*, on a :*

$$\begin{aligned}
\vec{TP}[r_i] &\geq \vec{TP}^a[r_i] - \frac{(-\vec{L}[\vec{R}[n+2]])^{\frac{1}{\omega}} * (\vec{Q}[r_{a+1}] + \varepsilon)^{\frac{1-\omega}{\omega}} - \varepsilon}{N} \\
&\quad + \frac{(-\vec{L}[\vec{R}[n+2]])^{\frac{1}{\omega}} * (\vec{Q}[r'_{a+1}] + \varepsilon)^{\frac{1-\omega}{\omega}} - \varepsilon)^{\frac{1-\omega}{\omega}} - \varepsilon}{N} \\
\vec{TP}[r_i] &\geq \vec{TP}^a[r_i] + \frac{(-\vec{L}[\vec{R}[n+2]])^{\frac{1}{\omega}}}{N} * (\vec{Q}[r'_{a+1}] + \varepsilon - \vec{Q}[r_{a+1}] - \varepsilon)^{\frac{1-\omega}{\omega}} \\
\vec{TP}[r_i] &\geq \vec{TP}^a[r_i] + \frac{(-\vec{L}[\vec{R}[n+2]])^{\frac{1}{\omega}}}{N} * (\vec{Q}[r'_{a+1}] - \vec{Q}[r_{a+1}])^{\frac{1-\omega}{\omega}} \qquad (3.4)
\end{aligned}$$

Or, $\frac{(-\vec{L}[\vec{R}[n+2]])^{\frac{1}{\omega}}}{N} \geq 0$ *et par hypothèse,* $\vec{Q}[r'_{a+1}] - \vec{Q}[r_{a+1}] > 0$

De plus, par l'hypothèse de récurrence, nous savons que $u_{r_i} > u^a_{r_i}$ *d'où* $\vec{TP}[r_i] \leq \vec{TP}^a[r_i]$

La relation 3.4 ne peut donc pas être valide : nous avons une contradiction. Nous pouvons donc conclure que $u_{r_i} > u^{a+1}_{r_i}$.

3. $p_i \in (S \cap S_{a+1}) \setminus (S_a)$ *et* $p_i \in S_a \setminus (S \cup S_{a+1})$

   Ces deux cas sont impossibles. La raison pour laquelle ils sont impossibles est ressemblante et directement liée à l'hypothèse de récurrence. En effet, pour le premier cas, lorsqu'un fournisseur n'est plus sélectionné dans S_a, il ne peut plus être sélectionné à nouveau dans S_{a+1}. Dans le second cas, lorsqu'un fournisseur qui n'était pas sélectionné dans S est sélectionné dans S_a, il ne peut pas ne plus être sélectionné dans S_{a+1}.

4. $p_i \in S \setminus (S_a \cup S_{a+1})$

   Nous travaillons ici sur les représentants. D'après l'hypothèse de récurrence, $u_{r_i} > u^a_{r_i}$*. On change un représentant de plus* ($[r'_{a+1} \ / \ r_{a+1}]$)*. Si cette nouvelle sélection S_{a+1} est meilleure, nous devrions avoir :*

$$\begin{aligned}
u_{r_i} &\leq u^{a+1}_{r_i} \\
v_{r_i} - \vec{TP}[r_i] &\leq -\vec{TP}^{a+1}[r_i] \\
v_{r_i} - \vec{TP}[r_i] &\leq -(\vec{TP}^a[r_i] - \vec{PP}[r_i, r_{a+1}] + \vec{PP}[r_i, r'_{a+1}]) \\
v_{r_i} - \vec{TP}[r_i] + \vec{TP}^a[r_i] &\leq \vec{PP}[r_i, r_{a+1}] - \vec{PP}[r_i, r'_{a+1}]
\end{aligned}$$

En utilisant le raisonnement pour avoir (3.4) *:*

$$v_{r_i} - \vec{TP}[r_i] + \vec{TP}^a[r_i] \leq -\frac{(-\vec{L}[\vec{R}[n+2]])^{\frac{1}{\omega}}}{m} * (\vec{Q}[r'_{a+1}] - \vec{Q}[r_{a+1}])^{\frac{1-\omega}{\omega}} \qquad (3.5)$$

Or, $\frac{(-\vec{L}[\vec{R}[n+2]])^{\frac{1}{\omega}}}{N} \geq 0$ *et par hypothèse,* $\vec{Q}[r'_{a+1}] - \vec{Q}[r_{a+1}] > 0$
La partie droite de l'équation 3.5 est donc négative.

$$v_{r_i} - \vec{TP}[r_i] + \vec{TP}^a[r_i] \quad \leq \quad 0$$

Or par hypothèse, $u_{r_i} > u^a_{r_i}$ *d'où* $v_{r_i} - \vec{TP}[r_i] > -\vec{TP}^a[r_i]$
Ce qui entraine : $v_{r_i} - \vec{TP}[r_i] + \vec{TP}^a[r_i] \times \vec{B}_{o_i} > 0$.
Nous aboutissons donc à une contradiction impliquant que la sélection S_{p+1} *n'est pas meilleure que la sélection* S.

5. $\underline{p_k \in (S \cap S_a) \setminus (S_{a+1})}$ *et* $p_i \in S_{a+1} \setminus (S \cup S_a)$
Nous avons regroupé ces deux cas car les fournisseurs concernés sont p_{a+1} *et* p_{a+1}*', à savoir les fournisseurs qui échangent leur place dans la sélection* S_{a+1} *(*$[p'_{a+1}$ / $p_{a+1}]$*). Leurs satisfactions sont directement liées. Nous travaillons sur leurs représentants. Pour savoir si la nouvelle sélection* S_{a+1} *est meilleure, nous étudions un représentant qui n'a été sélectionné dans aucune des trois sélections : nous avons* $\forall r_j \notin (S \cup S_a \cup S_{a+1}), u_{r_j} \leq u^{a+1}_{r_j}$ *car personne ne peut être moins bien que dans la sélection initiale* S.

$$\begin{aligned}
u_{r_j} &\leq u^{a+1}_{r_j} \\
-\vec{TP}[r_j] &\leq -\vec{TP}^{a+1}[r_j] \\
\vec{TP}[r_j] &\geq \vec{TP}^{a+1}[r_j] \\
\vec{TP}[r_j] &\geq \vec{TP}^a[r_j] - \frac{-\vec{B}^{Th}(r_{a+1}, \vec{L}[\vec{R}[n+2]])}{N} + \frac{-\vec{B}^{Th}(r'_{a+1}, \vec{L}[\vec{R}[n+2]])}{N} \\
\vec{TP}[r_j] &\geq \vec{TP}^a[r_j] + \frac{\vec{B}^{Th}(r_{a+1}, \vec{L}[\vec{R}[n+2]])}{N} - \frac{\vec{B}^{Th}(r'_{a+1}, \vec{L}[\vec{R}[n+2]])}{N}
\end{aligned}$$

Or, dans les sélections S *et* S_a*,* r_{a+1}*' (i.e.* r_i*) n'était pas sélectionné. Par hypothèse de récurrence, nous savons que :* $u_{r'_{a+1}} > u^a_{r'_{a+1}}$*. D'où :* $\vec{TP}[r'_{a+1}] - \vec{TP}^a[r'_{a+1}] < 0$
Or, les factures que r_j *et* r_i *(i.e.* r_{a+1}*') ont payé lors des sélections* S *et* S_p *sont identiques car ils avaient le même statut, à savoir non sélectionné.*

$$\begin{aligned}
0 > \vec{TP}[r_j] - \vec{TP}^a[r_j] &\geq \frac{\vec{B}^{Th}(r_{a+1}, \vec{L}[\vec{R}[n+2]])}{N} - \frac{\vec{B}^{Th}(r'_{a+1}, \vec{L}[\vec{R}[n+2]])}{N} \\
0 &> \frac{\vec{B}^{Th}(r_{a+1}, \vec{L}[\vec{R}[n+2]])}{N} - \frac{\vec{B}^{Th}(r'_{a+1}, \vec{L}[\vec{R}[n+2]])}{N} \\
\vec{B}^{Th}(r'_{a+1}, \vec{L}[\vec{R}[n+2]]) &> \vec{B}^{Th}(r_{a+1}, \vec{L}[\vec{R}[n+2]]) \\
-max((-\vec{L}[\vec{R}[n+2]])^{\frac{1}{\omega}} * (\vec{Q}[r'_{a+1}] + \varepsilon)^{\frac{1-\omega}{\omega}} - \varepsilon, 0) &> -max((-\vec{L}[\vec{R}[n+2]])^{\frac{1}{\omega}} * (\vec{Q}[r_{a+1}] + \varepsilon)^{\frac{1-\omega}{\omega}} - \varepsilon, 0) \\
(-\vec{L}[\vec{R}[n+2]])^{\frac{1}{\omega}} * (\vec{Q}[r'_{a+1}] + \varepsilon)^{\frac{1-\omega}{\omega}} - \varepsilon &< (-\vec{L}[\vec{R}[n+2]])^{\frac{1}{\omega}} * (\vec{Q}[r_{a+1}] + \varepsilon)^{\frac{1-\omega}{\omega}} - \varepsilon \\
(\vec{Q}[r'_{a+1}] + \varepsilon)^{\frac{1-\omega}{\omega}} &< \vec{Q}[r_{a+1}] + \varepsilon)^{\frac{1-\omega}{\omega}}
\end{aligned}$$

Nous savons que $x \xmapsto{f} x^{\frac{1-\omega}{\omega}}$ *est croissante sur* $\mathbb{R}$*. Or, par hypothèse, on a* $\vec{Q}[p'_{a+1}] > \vec{Q}[p_{a+1}]$*. Nous obtenons à nouveau une contradiction.*

6. $\underline{p_i \in (S_a \cap S_{a+1}) \setminus (S)}$
Nous travaillons ici sur les représentants. D'après l'hypothèse de récurrence, $u_{r_i} > u^a_{r_i}$. Nous changeons un représentant de plus ($[r'_{a+1}$ / $r_{a+1}]$). Si cette nouvelle sélection S_{a+1} est meilleure, nous avons

$$\begin{aligned}
u_{r_i} &\leq u^{a+1}_{r_i} \\
-\vec{TP}[r_i] &\leq v_{r_i} - \vec{TP}^{a+1}[r_i] \\
v_{r_i} + \vec{TP}[r_i] &\geq \vec{TP}^{a+1}[r_i] \\
v_{r_i} + \vec{TP}[r_i] &\geq \vec{TP}^{a}[r_i] - \vec{PP}[r_i, r_{a+1}] + \vec{PP}[r_i, r'_{a+1}] \\
v_{r_i} + \vec{TP}[r_i] &\geq \vec{TP}^{a}[r_i] + \frac{(-\vec{L}[\vec{R}[n+2]])^{\frac{1}{\omega}}}{N} * (\vec{Q}[r'_{a+1}] - \vec{Q}[r_{a+1}])^{\frac{1-\omega}{\omega}} \\
v_{r_i} + \vec{TP}[r_i] - \vec{TP}^{a}[r_i] &\geq \frac{(-\vec{L}[\vec{R}[n+2]])^{\frac{1}{\omega}}}{N} * (\vec{Q}[r'_{a+1}] - \vec{Q}[r_{a+1}])^{\frac{1-\omega}{\omega}} \qquad (3.6)
\end{aligned}$$

Nous savons que $\frac{(-\vec{L}[\vec{R}[n+2]])^{\frac{1}{\omega}}}{N} \geq 0$ et, par hypothèse, $\vec{Q}[p'_{a+1}] > \vec{Q}[p_{a+1}]$.

La partie droite de l'équation 3.6 est donc strictement positive.

$$v_{r_i} + \vec{TP}[r_i] - \vec{TP}^{a}[r_i] \geq 0$$

Or par hypothèse, $u_{r_i} > u^a_{r_i}$

d'où $\quad - \vec{TP}[r_i] > v_{r_i} - \vec{TP}^{a}[r_i]$

$$v_{r_i} - \vec{TP}^{a}[r_i] + \vec{TP}[r_i] < 0$$

Nous arrivons à une contradiction.

Dans tous les cas possibles, nous avons réussi à montrer $\exists\, pe \in \mathcal{P}^{req}_m \cup \mathcal{R}^{req}_m \cup \{us\}$ tel que $u_{pe} > u^{a+1}_{pe}$. La solution S_{a+1} en cas de réquisition n'est donc pas meilleure que la solution initiale S.

Cas de compétition en présence de pairs réquisitionnables : $N^+ > 0$***;*** $N^- > 0$***;*** $N^+ > n$

*** `Au pas a = 1 :`

On remplace p par p' ($S_1 = S[p'$ / $p]$). Deux possibilités se présentent à nous :

- $v_{p'} \geq 0$
  Nous nous ramenons au pas $a = 1$ du cas de compétition pure.
- $v_{p'} < 0$
  Le mode de facturation appliqué est celui de la compétition car le médiateur a à sa disposition suffisamment de fournisseurs désirant réaliser la requête. On se situe au niveau des représentants. Ainsi, r' devra supporter lui-même l'entière charge de sa réquisition plus sa facture en tant que représentant sélectionné (coût de sa mise à niveau par rapport au $n+1^{ème}$ pair). Son utilité pour cette sélection s'en trouve d'autant affectée. Il sera donc forcément mécontent de sa sélection, préférant S où il n'était pas sélectionné et avait une facture nulle.

*** `Au pas a+1 (≤ n) quelconque :`

On s'intéresse ici au représentant r_{a+1}' qui a été inséré dans la sélection S_{a+1}.

- *si $v_{r'_{a+1}} < 0$: r_{a+1} ne désire pas faire la requête.*

$$u_{r'_{a+1}} = -\vec{TP}[r'_{a+1}] = 0 \quad et \quad u^{a+1}_{r'_{a+1}} = v_{r'_{a+1}} - \vec{TP}^{a+1}[r'_{a+1}]$$

Or, comme nous sommes en compétition et pour les mêmes raisons qu'au pas a=1 précédent, sa facture correspond au support de sa réquisition ainsi que le prix de sa sélection : sa facture est donc négative. On arrive à : $u_{r'_{a+1}} < 0$*. On a donc bien :* $u_{r'_{a+1}} > u^{a+1}_{r'_{a+1}}$

- *si* $v_{r'_{a+1}} \geq 0$ *: On se réfère au pas a+1 du cas de compétition pure.*

Cas de transition, tous les compétiteurs sont sélectionnés et tous les réquisitionnables non : $N^+ > 0$***;*** $N^- > 0$***;*** $N^+ = n$

*** `Au pas a = 1 :`

On travaille ici sur les représentants. On sélectionne r' à la place de r. On sait que l'évaluation de r' est négative. Comme on a le nombre de représentants nécessaire à un cas de compétition, nous gardons ce mode de facturation. L'offre du premier représentant non sélectionné est négative : ainsi, la facture de tous les représentants est nulle (voir sélection s_2 *de la table 3.1).*

Nous avons : $u_{r'} = -\vec{TP}[r'] = 0$ *et* $u^1_{r'} = v_{r'} - \vec{TP}^1[r']$*. Or, l'évaluation de r' est négative, et comme nous sommes en compétition, sa facturation correspond au prix de sa réquisition, qu'il doit supporter seul (sa facturation est donc négative elle aussi).*

D'où $u_{r'} > u^1_{r'}$

*** `Au pas a+1 (≤ n) quelconque :`

Ici, nous n'avons pas besoin de récurrence. En effet, nous sommes dans un cas limite où le fait de changer un fournisseur sélectionné provoque la sélection d'un fournisseur ne voulant pas faire la requête. Les deux fournisseurs dont le statut a changé sont forcément moins satisfaits.

Réquisition en présence de compétiteurs : $N^+ > 0$***;*** $N^- > 0$***;*** $N^+ < n$

*** `Au pas a = 1 :`

On remplace p par p' ($S_1 = S[p' \ / \ p]$*). p' aura nécessairement fait une offre négative vu que seuls les réquisitionnables peuvent être changés ici.*

- $v_p \geq 0$
  Nous avons par hypothèse que $v_{p'} < 0$*. On change p qui voulait réaliser la requête par p' qui ne voulait pas la faire. Cela entraîne en plus une augmentation de la facturation de tout le monde.*
- $v_p < 0$
  Nous nous référons au pas $a = 1$ *du cas de réquisition pure.*

*** `Au pas a+1 (≤ n) quelconque :`

- $v_{p_{a+1}} \geq 0$
  Ici, la récurrence n'est pas utile. En effet, pour les mêmes raisons qu'au pas $a = 1$*, enlever un fournisseur qui voulait traiter la requête provoque une augmentation de la facture de chacun vu que nous sommes en réquisition.*
- $v_{p_{a+1}} < 0$
  La récurrence employée ici est la même que celle utilisée pour le cas de réquisition pure au pas $a + 1$*.*

Tous les pairs sont sélectionnés : $N \leq n$

La sélection initiale est unique car tous les fournisseurs capables de faire la requête sont déjà sélectionnés. Elle est donc la meilleure.

Conclusion concernant la sélection

Nous avons réussi à montrer que pour tous les cas envisageables dans la médiation flexible, la sélection obtenue est la meilleure.

Facturation

Le but de cette partie est de montrer que la facturation initiale $\vec{bill}$ établie par la médiation flexible est elle aussi Pareto optimale. Dans le cas présent, nous supposons que la sélection initiale obtenue ne change pas vu que nous venons de démontrer qu'elle est Pareto optimale. De plus, le médiateur m va cette fois intervenir (définition de son utilité dans la section 2.2.2).

Le nouveau mode de facturation étudié peut provoquer trois cas :

1. *$\vec{bill}^-$ où, au moins un représentant paie moins cher que dans $\vec{bill}$ sans que les factures des autres ne changent,*
2. *$\vec{bill}^+$ où, au moins un représentant paie plus cher que dans $\vec{bill}$ sans que les factures des autres ne changent,*
3. *$\vec{bill}^=$ où, au moins un pair paie plus cher et un autre moins cher que dans la médiation flexible mais avec $\vec{bill}^= = \vec{bill}$.*

Soit i le représentant touché par la modification.

1. *Cas de $\vec{bill}^-$*

$$\begin{aligned} u_m &= \textstyle\sum_{j\in\mathcal{P}_m^{req}} \vec{bill}[j] \\ &= \textstyle\sum_{j\in[1,..,i-1]} \vec{bill}[j] + \sum_{j\in[i+1,..,N]} \vec{bill}[j] + \vec{bill}[i] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u_m^- &= \textstyle\sum_{j\in\mathcal{P}_m^{req}} \vec{bill}[j]^- \\ &= \textstyle\sum_{j\in[1,..,i-1]} \vec{bill}[j]^- + \sum_{j\in[i+1,..,N]} \vec{bill}[j]^- + \vec{bill}[i]^- \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Or, \textstyle\sum_{j\in[1,..,i-1]} \vec{bill}[j] + \sum_{j\in[i+1,..,N]} \vec{bill}[j] &= \textstyle\sum_{j\in[1,..,i-1]} \vec{bill}[j]^- + \sum_{j\in[i+1,..,N]} \vec{bill}[j]^- \\ on\ a\ donc\ u_m &= \vec{bill}[i] \\ et\ u_m^- &= \vec{bill}[i]^- \end{aligned}$$

Or, par l'hypothèse de ce cas, nous savons que $\vec{bill}[i] > \vec{bill}[i]^-$

Nous arrivons donc à $u_m > u_m^-$. Le médiateur n'est pas satisfait par le nouveau mode de facturation.

Ce cas est facilement applicable si plusieurs pairs sont concernés par la baisse de leur facturation.

2. *Cas de $\vec{bill}^+$*

Ici, nous nous intéressons au cas du pair i.

$$\begin{aligned} u_r &= v_i - \vec{bill}[i] \\ u_r^+ &= v_i - \vec{bill}[i]^+ \end{aligned}$$

Son évaluation n'est pas dépendante de sa facture, nous pouvons donc la supprimer des équations précédentes.

$$\begin{aligned} u_r &= -\vec{bill}[i] \\ u_r^+ &= -\vec{bill}[i]^+ \end{aligned}$$

Par hypothèse, nous savons que $\vec{bill}[i] < \vec{bill}[i]^+$ *D'où :* $u_r > u_r^+$. *Le représentant* i *est mécontent du nouveau mode de facturation. On peut facilement étendre le cas à plusieurs représentants.*

3. *Cas de* $\vec{bill}^=$
   Ce cas peut se ramener au cas 2 pour lequel le représentant dont la facture a augmenté, est nécessairement mécontent.

Conclusion concernant la facturation

Après l'étude des différents cas concernant la facturation, nous arrivons à conclure que la facturation de la médiation flexible est Pareto optimale.

Conclusions

Nous avons réussi à démontrer que les deux éléments constituant le résultat d'une médiation, à savoir la sélection d'une part et la facturation d'autre part, sont Pareto optimaux. Nous pouvons donc en conclure que la médiation flexible en elle-même est Pareto optimale.

3.6.1.2 Incitation à révéler sa propre évaluation *(Incentive Compatibility)*

Cette propriété ne concerne que les représentants des fournisseurs et la manière dont le mécanisme les oriente pour faire leurs offres. En effet, un représentant participant à une médiation est libre d'indiquer les informations, et en particulier l'offre, qu'il veut au médiateur. Il peut tout à fait avoir une politique l'entraînant à faire une offre ne correspondant pas à son évaluation (section 2.14). La propriété d'***incentive compatibility*** (définition 1.9) permet de garantir que les pairs ont une attitude loyale envers le médiateur et envers les autres pairs impliqués (y compris les fournisseurs et les initiateurs). Ils vont ainsi révéler leurs véritables informations. Si cette propriété n'est pas obtenue par un mécanisme, celui-ci peut être éventuellement faussé par des pairs qui mentent.

Pour étudier cette propriété, nous précisons la définition 1.9 en utilisant des notations plus spécifiques. Nous nous intéressons ici à l'étude de la médiation réalisée pour une requête req appartenant à $\mathcal{R}eq$: nous ne rappelons pas ce fait dans les notations utilisées pour la suite de l'étude.

- θ_i et θ_i' : θ_i correspond au type du représentant i (voir section 2.14 pour la définition des types des représentants). Il s'assimile aux informations privées réelles que le représentant a sur la requête req. θ_i' est son type pour des données ne correspondant pas à ce qu'il pense réellement
- $v(\theta_i, lo_{req})$ et $v(\theta_i', lo_{req})$ sont les évaluations obtenues à partir des types précédemment définis. La première correspond à celle où le représentant interprète réellement ses informations privées, la seconde lorsqu'il ment. Sa charge reste constante et n'intervient pas dans la modification de son offre lors de l'utilisation de θ_i' : on l'enlève de la notation des évaluations pour la suite.
- (θ_1,..,θ_i,..,θ_N) et (θ_1,..,θ_i',..,θ_N) correspondent à l'ensemble des types présentés par tous les représentants respectivement quand i se base sur ses informations privées réelles et quand il ment sur son évaluation. Nous les notons aussi respectivement (θ_i,θ_{-i}) et (θ_i',θ_{-i}), θ_{-i} correspondant à l'ensemble des types des autres représentants.
- $Med_{(\theta_i,\theta_{-i})}$ et $Med_{(\theta_i',\theta_{-i})}$ sont les résultats de la médiation. En effet, ils se trouvent affectés par le changement de stratégies du représentant vu que l'offre est utilisée dans le calcul de la sélection ainsi que dans celui de la facturation.

En utilisant les notations précédentes, nous précisons la définition 1.9 :

Définition 3.8. *Un mécanisme est incentive compatible si et seulement si :*

$$\forall i \in \mathcal{R}_m^{req},\ u(\theta_i, Med(\theta_i, \theta_{-i})) \geq u(\theta_i, Med(\theta_i', \theta_{-i}))$$

Ainsi réécrite, la définition indique que si le pair n'utilise pas son vrai type, il obtient alors une utilité inférieure ou égale à celle qu'il aurait eue en se basant sur ses véritables informations privées. Le calcul de son utilité lorsqu'il n'a pas utilisé θ_i se fait en employant tout de même θ_i, puisque pour lui, seules ses informations exactes sont importantes et reflètent ce qu'il recherchait réellement.

Nous séparons l'étude de la propriété d'*incentive compatible* en plusieurs sous-cas : tout d'abord, nous regroupons les cas de compétition et de réquisition pure avant d'étudier le cas où le mode réquisition est appliqué en présence de représentants souhaitant faire la requête.

Théorème 3.7. *En compétition et en réquisition pure, la médiation flexible incite les représentants à révéler leur évaluation propre.*

DÉMONSTRATION 3.10. *Nous devons réussir à prouver que pour tout représentant, son utilité lorsqu'il se base sur son θ_i réel est supérieure ou égale à son utilité lorsqu'il se sert de son type θ_i' non correct.*

Nous supposons ici que le pair dispose d'un solde monétaire suffisant pour lui permettre de ne pas limiter son offre. Ainsi, on peut assimiler son offre et son évaluation à la même valeur ($\vec{B}[i] = v_{(\theta)}$).

Nous rappelons l'utilité du représentant : $u_i(\theta) = \vec{alloc}[i] \times v(\theta) - \vec{bill}[i]$.

Nous ajoutons un paramètre aux notations $\vec{alloc}$ et $\vec{TP}$ afin de bien différencier les cas où θ_i et θ_i' sont utilisés : ainsi, nous avons $\vec{alloc}_{\theta_i}[i]$, $\vec{alloc}_{\theta_i'}[i]$, $\vec{bill}_{\theta_i}[i]$ et $\vec{bill}_{\theta_i'}[i]$, de même pour l'ensemble des notations relatives à la médiation flexible.

1. *Cas de compétition :*
   - (a) *i est sélectionné dans $Med(\theta_i,\theta_{-i})$:*
     - i. $v(\theta_i') > v(\theta_i)$:
       En compétition, lorsque l'on est sélectionné, le calcul de la facture se fait par rapport au $n+1^{ème}$ pair. Dans $Med(\theta_i,\theta_{-i})$, celui-ci ne change pas, alors la facturation non plus. L'utilité dans les deux cas reste donc identique.
     - ii. $v(\theta_i') < v(\theta_i)$
       Deux cas sont envisageable :
       - A. *i est toujours sélectionné dans $Med(\theta_i$',$\theta_{-i})$:*
         Nous pouvons nous référer au cas 1.(a).i.
       - B. *i n'est plus sélectionné dans $Med(\theta_i$',$\theta_{-i})$:*
         $u_i(\theta) = v(\theta) - \vec{bill}_{\theta_i}[i] \geq 0$ *d'après le théorème 3.5.*
         $u_i(\theta') = 0$
   - (b) *i n'est pas sélectionné dans $Med(\theta_i,\theta_{-i})$:*
     Deux cas sont alors possibles :
     - i. $v(\theta_i') > v(\theta_i)$
       - A. *i n'est toujours pas sélectionné dans $Med(\theta_i$',$\theta_{-i})$:*
         Sa facture est toujours nulle et son utilité reste nulle elle aussi.

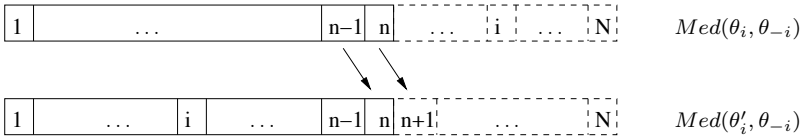


Figure 3.3 – Allocations réalisées en compétition dans le cas 1.(a).i.B

B. i est maintenant sélectionné dans $Med(\theta_i\text{'},\theta_{-i})$:
La figure 3.3 présente les médiations obtenues avec θ_i et θ_i'.
Comme i n'est pas sélectionné dans $Med(\theta_i,\theta_{-i})$, $\vec{bill}_{\theta_i}[i]$ = 0 et son utilité est nulle.
On a :

$$\begin{aligned}
\vec{bill}_{\theta'_i}[i] &= \vec{B}^{Th}_{\theta'_i}(i, \vec{L}_{\theta'_i}[n+1]) \\
&= max((\vec{L}_{\theta'_i}[n+1])^{\frac{1}{\omega}} \times (\vec{Q}[i]+\varepsilon)^{\frac{\omega-1}{\omega}} - \varepsilon, 0) \\
&= ((\vec{B}[k]+\varepsilon)^{\omega} \times (\vec{Q}[k]+\varepsilon)^{1-\omega})^{\frac{1}{\omega}} \times (\vec{Q}[i]+\varepsilon)^{\frac{\omega-1}{\omega}} - \varepsilon
\end{aligned}$$

Or, par hypothèse, on sait que :

$$\begin{aligned}
\vec{L}_{\theta_i}[i] &\leq \vec{L}_{\theta_i}[n] \\
(\vec{B}_{\theta_i}[i]+\varepsilon)^{\omega} \times (\vec{Q}[i]+\varepsilon)^{1-\omega} &\leq (\vec{B}[k]+\varepsilon)^{\omega} \times (\vec{Q}[k]+\varepsilon)^{1-\omega} \\
(\vec{B}_{\theta_i}[i]+\varepsilon)^{\omega} &\leq (\vec{B}[k]+\varepsilon)^{\omega} \times (\vec{Q}[k]+\varepsilon)^{1-\omega} \times (\vec{Q}[i]+\varepsilon)^{\omega-1} \\
\vec{B}_{\theta_i}[i]+\varepsilon &\leq (\vec{B}[k]+\varepsilon) \times (\vec{Q}[k]+\varepsilon)^{\frac{1-\omega}{\omega}} \times (\vec{Q}[i]+\varepsilon)^{\frac{\omega-1}{\omega}} \\
\vec{B}_{\theta_i}[i] &\leq (\vec{B}[k]+\varepsilon) \times (\vec{Q}[k]+\varepsilon)^{\frac{1-\omega}{\omega}} \times (\vec{Q}[i]+\varepsilon)^{\frac{\omega-1}{\omega}} - \varepsilon
\end{aligned}$$

Or, $\vec{B}_{\theta_i}[i] = v(\theta_i)$ et $\vec{L}_{\theta'_i}[n+1] = \vec{L}_{\theta_i}[n]$ d'où :

$$\begin{aligned}
v(\theta_i) &\leq \vec{bill}_{\theta'_i}[i] \\
v(\theta_i) - \vec{bill}_{\theta'_i}[i] &\leq 0 \\
u(\theta_i, Med(\theta'_i, \theta_{-i})) &\leq 0
\end{aligned}$$

On a bien réussi à prouver que $u(\theta_i, Med(\theta_i, \theta_{-i}))$ est supérieure ou égale à $u(\theta_i, Med(\theta'_i, \theta_{-i}))$.

ii. $v(\theta'_i) < v(\theta_i)$
i reste non sélectionné, sa facture est nulle, son utilité aussi.

2. *Cas de réquisition pure :*
Nous supposons ici que nous sommes en réquisition pure. Par conséquent, aucune évalution ne peut être positive.

(a) i est sélectionné dans $Med(\theta_i,\theta_{-i})$:

i. $v(\theta'_i) > v(\theta_i)$
i reste sélectionné. Le $n+2^{\text{ème}}$ pair dans les résultats des médiations n'a pas changé : la facturation est toujours calculée par rapport à lui. Les utilités sont donc identiques.

ii. $v(\theta'_i) < v(\theta_i)$

A. i est toujours sélectionné dans $Med(\theta_i\text{'},\theta_{-i})$:
Nous pouvons nous référer au cas 2.(a).i.

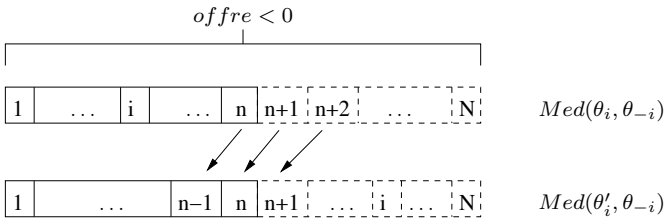


Figure 3.4 – Allocations réalisées en réquisition pure dans le cas 2.(a).ii.B

B. i n'est plus sélectionné dans $Med(\theta_i', \theta_{-i})$:

On veut :

$$\begin{array}{rcl} u_i(\theta) & \geq & u_i(\theta') \\ v(\theta_i) - \vec{B}^{Th}_{\theta_i}(i, \vec{L}_{\theta_i}[n+1]) + \dfrac{\vec{B}^{Th}_{\theta_i}(i, \vec{L}_{\theta_i}[n+2])}{N} + \dfrac{\sum_{j\in[1,i-1]\cup[i+1,n]} \vec{B}^{Th}_{\theta_i}(j, \vec{L}_{\theta_i}[n+2])}{N} & \geq & \dfrac{\sum_{j\in[1,n-1]} \vec{B}^{Th}_{\theta_i'}(j, \vec{L}_{\theta_i'}[n+2])}{N} + \dfrac{\vec{B}^{Th}_{\theta_i'}(n, \vec{L}_{\theta_i'}[n+2])}{N} \end{array}$$

or, $\dfrac{\sum_{j\in[1,i-1]\cup[i+1,n]} \vec{B}^{Th}_{\theta_i}(j, \vec{L}_{\theta_i}[n+2])}{N} \geq \dfrac{\sum_{j\in[1,n-1]} \vec{B}^{Th}_{\theta_i'}(j, \vec{L}_{\theta_i'}[n+2])}{N}$ *et*
$\dfrac{\vec{B}^{Th}_{\theta_i}(i, \vec{L}_{\theta_i}[n+2])}{N} \geq \dfrac{\vec{B}^{Th}_{\theta_i'}(n, \vec{L}_{\theta_i'}[n+2])}{N}$

Nous obtenons :

$$\begin{array}{rcl} v(\theta_i) - \vec{B}^{Th}_{\theta_i}(i, \vec{L}_{\theta_i}[n+1]) & \geq & 0 \\ v(\theta_i) + max((-\vec{L}_{\theta_i}[n+1])^{\frac{1}{\omega}} \times (\vec{Q}[i]+\varepsilon)^{\frac{1-\omega}{\omega}} - \varepsilon, 0) & \geq & 0 \\ v(\theta_i) + (-(-(-\vec{B}[n+1]+\varepsilon)^{\omega} \times (\vec{Q}[n+1]+\varepsilon)^{\omega-1}))^{\frac{1}{\omega}} \times (\vec{Q}[i]+\varepsilon)^{\frac{1-\omega}{\omega}} - \varepsilon & \geq & 0 \\ v(\theta_i) + (-\vec{B}[n+1]+\varepsilon)(\vec{Q}[n+1]+\varepsilon)^{\frac{\omega-1}{\omega}}(\vec{Q}[i]+\varepsilon)^{\frac{1-\omega}{\omega}} - \varepsilon & \geq & 0 \end{array} \tag{3.7}$$

Or, on sait que :

$$\begin{array}{rcl} \vec{L}_{\theta_i}[i] & \geq & \vec{L}_{\theta_i}[n+1] \\ -(-\vec{B}_{\theta_i}[i]+\varepsilon)^{\omega} \times (\vec{Q}[i]+\varepsilon)^{\omega-1} & \geq & -(-\vec{B}[n+1]+\varepsilon)^{\omega} \times (\vec{Q}[n+1]+\varepsilon)^{\omega-1} \\ (-\vec{B}_{\theta_i}[i]+\varepsilon)^{\omega} \times (\vec{Q}[i]+\varepsilon)^{\omega-1} & \leq & (-\vec{B}[n+1]+\varepsilon)^{\omega} \times (\vec{Q}[n+1]+\varepsilon)^{\omega-1} \\ (-\vec{B}_{\theta_i}[i]+\varepsilon)^{\omega} & \leq & (-\vec{B}[n+1]+\varepsilon)^{\omega} \times (\vec{Q}[n+1]+\varepsilon)^{\omega-1}(\vec{Q}[i]+\varepsilon)^{1-\omega} \\ -\vec{B}_{\theta_i}[i]+\varepsilon & \leq & (-\vec{B}[n+1]+\varepsilon) \times (\vec{Q}[n+1]+\varepsilon)^{\frac{\omega-1}{\omega}}(\vec{Q}[i]+\varepsilon)^{\frac{1-\omega}{\omega}} \\ 0 & \leq & \vec{B}_{\theta_i}[i] + (-\vec{B}[n+1]+\varepsilon) \times (\vec{Q}[n+1]+\varepsilon)^{\frac{\omega-1}{\omega}}(\vec{Q}[i]+\varepsilon)^{\frac{1-\omega}{\omega}} - \varepsilon \end{array}$$

Or, $v(\theta_i) = \vec{B}_{\theta_i}[i]$

On arrive bien à l'inéquation (3.9). *On a ainsi prouvé que* $u_i(\theta) \geq u_i(\theta')$.

(b) i n'est pas sélectionné dans $Med(\theta_i, \theta_{-i})$:

i. $v(\theta_i') > v(\theta_i)$

A. i n'est toujours pas sélectionné dans $Med(\theta_i', \theta_{-i})$:

Sa facturation reste la même vu que ce sont les mêmes pairs qui sont sélectionnés. Son utilité reste elle aussi égale à son utilité dans $Med(\theta_i,\theta_{-i})$.

B. i est maintenant sélectionné dans $Med(\theta_i',\theta_{-i})$:

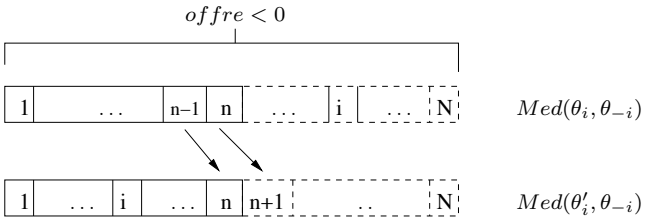


Figure 3.5 – Allocations réalisées en réquisition pure dans le cas 2.(b).i.B

$$\begin{aligned}
u_i(\theta) &\geq u_i(\theta') \\
-\vec{bill}_{\theta_i}[i] &\geq v(\theta) - \vec{bill}_{\theta_i'}[i] \\
\frac{\sum_{j\in[1,n]} \vec{B}^{Th}_{\theta_i}(j,\vec{L}_{\theta_i}[n+2])}{N} &\geq v(\theta_i) + \frac{\sum_{j\in[1,n]} \vec{B}^{Th}_{\theta_i'}(j,\vec{L}_{\theta_i'}[n+2])}{N} - \vec{B}^{Th}_{\theta_i'}(i,\vec{L}_{\theta_i'}[n+1]) \\
\frac{\sum_{j\in[1,n]} \vec{B}^{Th}_{\theta_i}(j,\vec{L}_{\theta_i}[n+2])}{N} - \frac{\sum_{j\in[1,n]} \vec{B}^{Th}_{\theta_i'}(j,\vec{L}_{\theta_i'}[n+2])}{N} &\geq v(\theta_i) - \vec{B}^{Th}_{\theta_i'}(i,\vec{L}_{\theta_i'}[n+1])
\end{aligned}$$

Or, $\vec{B}^{Th}$ est croissante et $\vec{L}_{\theta_i}[n+2] \leq \vec{L}_{\theta_i'}[n+2]$, on a donc :

$$\frac{\sum_{j\in[1,n]} \vec{B}^{Th}_{\theta_i}(j,\vec{L}_{\theta_i}[n+2])}{N} \leq \frac{\sum_{j\in[1,n]} \vec{B}^{Th}_{\theta_i'}(j,\vec{L}_{\theta_i'}[n+2])}{N}$$

D'où, $\frac{\sum_{j\in[1,n]} \vec{B}^{Th}_{\theta_i}(j,\vec{L}_{\theta_i}[n+2])}{N} - \frac{\sum_{j\in[1,n]} \vec{B}^{Th}_{\theta_i'}(j,\vec{L}_{\theta_i'}[n+2])}{N} \leq 0$

Ce qui entraine :

$$\begin{aligned}
0 &\geq v(\theta_i) - \vec{B}^{Th}_{\theta_i'}(i,\vec{L}_{\theta_i'}[n+1]) \\
0 &\geq v(\theta_i) - (-((-\vec{L}_{\theta_i'}[n+1])^{\frac{1}{\omega}}(\vec{Q}[i]+\varepsilon)^{\frac{1-\omega}{\omega}} - \varepsilon)) \\
0 &\geq v(\theta_i) + (-\vec{L}_{\theta_i'}[n+1])^{\frac{1}{\omega}}(\vec{Q}[i]+\varepsilon)^{\frac{1-\omega}{\omega}} - \varepsilon \\
0 &\geq v(\theta_i) + (-\vec{B}[n+1]+\varepsilon)(\vec{Q}[n+1]+\varepsilon)^{\frac{\omega-1}{\omega}}(\vec{Q}[i]+\varepsilon)^{\frac{1-\omega}{\omega}} - \varepsilon \quad (3.8)
\end{aligned}$$

Or, on sait que :

$$\begin{aligned}
\vec{L}_{\theta_i}[i] &\leq \vec{L}_{\theta'_i}[n+1] \\
-(-\vec{B}_{\theta_i}[i]+\varepsilon)^{\omega} \times (\vec{Q}[i]+\varepsilon)^{\omega-1} &\leq -(-\vec{B}[n+1]+\varepsilon)^{\omega} \times (\vec{Q}[n+1]+\varepsilon)^{\omega-1} \\
(-\vec{B}_{\theta_i}[i]+\varepsilon)^{\omega} \times (\vec{Q}[i]+\varepsilon)^{\omega-1} &\geq (-\vec{B}[n+1]+\varepsilon)^{\omega} \times (\vec{Q}[n+1]+\varepsilon)^{\omega-1} \\
(-\vec{B}_{\theta_i}[i]+\varepsilon)^{\omega} &\geq (-\vec{B}[n+1]+\varepsilon)^{\omega} \times (\vec{Q}[n+1]+\varepsilon)^{\omega-1}(\vec{Q}[i]+\varepsilon)^{1-\omega} \\
-\vec{B}_{\theta_i}[i]+\varepsilon &\geq (-\vec{B}[n+1]+\varepsilon) \times (\vec{Q}[n+1]+\varepsilon)^{\frac{\omega-1}{\omega}}(\vec{Q}[i]+\varepsilon)^{\frac{1-\omega}{\omega}} \\
\vec{B}_{\theta_i}[i] &\leq -(-\vec{B}[n+1]+\varepsilon) \times (\vec{Q}[n+1]+\varepsilon)^{\frac{\omega-1}{\omega}}(\vec{Q}[i]+\varepsilon)^{\frac{1-\omega}{\omega}} + \varepsilon \\
0 &\geq \vec{B}_{\theta_i}[i] + (-\vec{B}[n+1]+\varepsilon) \times (\vec{Q}[n+1]+\varepsilon)^{\frac{\omega-1}{\omega}}(\vec{Q}[i]+\varepsilon)^{\frac{1-\omega}{\omega}} - \varepsilon
\end{aligned}$$

Or, $v(\theta_i) = \vec{B}_{\theta_i}[i]$ *: on arrive donc bien à l'inéquation* (3.10).

ii. $v(\theta'_i) < v(\theta_i)$ *:*

i reste non sélectionné dans $Med(\theta_i', \theta_{-i})$*, ainsi, cela n'affecte pas la facturation et les pairs sélectionnés. Son utilité reste donc identique à celle qu'il avait dans* $Med(\theta_i, \theta_{-i})$*.*

Conclusions :

Nous avons bien réussi à montrer ici qu'il était toujours plus avantageux pour le représentant d'interpréter son type de manière réelle lorsque la médiation flexible se déroule dans le cadre de compétition ou de réquisition pure. □

Théorème 3.8. *La médiation flexible n'est pas incentive compatible lorsque le mode réquisition est appliqué en présence de représentants ayant fait des offres positives.*

DÉMONSTRATION 3.11. *Nous nous basons ici sur les hypothèses faites lors de la démonstration précédente. Même si la médiation flexible n'est pas incentive compatible lorsque nous sommes en mode réquisition avec des compétiteurs, nous présentons l'ensemble des cas afin de constater qu'un seul pose problème sur l'ensemble des cas pouvant être rencontrés dans ce contexte. Les évaluations faites peuvent être ici positives ou négatives.*

1. *i est sélectionné dans* $Med(\theta_i, \theta_{-i})$ *:*
   (a) $v(\theta_i) \geq 0$
      i. $v(\theta'_i) > v(\theta_i)$
      i reste sélectionné. Le $n + 2^{\text{ème}}$ *pair dans les résultats des médiations n'a pas changé : la facturation est toujours calculée par rapport à ce pair. Les utilités sont identiques.*
      ii. $v(\theta'_i) < v(\theta_i)$
      (*) $v(\theta'_i) \geq 0$
         Se référer au cas 2.(a).i.A
      (**) $v(\theta'_i) < 0$
         Deux cas sont alors possibles :
         (+) i est toujours sélectionné dans $Med(\theta_i', \theta_{-i})$ *:*
            Nous sommes ici dans le cas qui bloque la médiation flexible d'être incentive compatible car le pair i peut obtenir une utilité dans $Med(\theta_i', \theta_{-i})$ *supérieure à celle dans* $Med(\theta_i, \theta_{-i})$*. En effet, dans* $Med(\theta_i, \theta_{-i})$*, le pair désire faire la requête, il est sélectionné et participe au dédommagement des pairs réquisitionnés. Dans* $Med(\theta_i', \theta_{-i})$*, il est toujours sélectionné mais cette fois-ci en tant que réquisitionné : il touche alors une compensation financière qu'il n'avait pas dans le premier cas tout en continuant à dédommager les autres réquisitionnés. Il est forcément plus satisfait.*

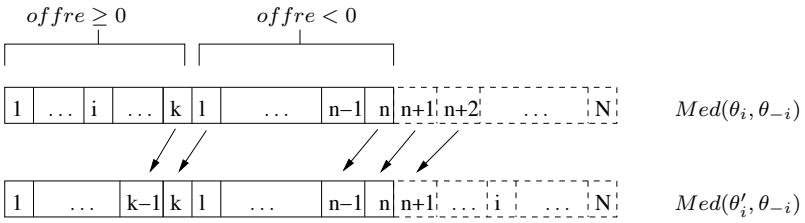


Figure 3.6 – Allocations réalisées en réquisition avec compétiteurs dans le cas 2.(a).i.B.(**).(++)

(++) i n'est plus sélectionné dans $Med(\theta_i\text{'},\theta_{-i})$:

Dans $Med(\theta_i,\theta_{-i})$, $\vec{bill}_{\theta_i}[i] = -\dfrac{\sum_{r_j \in [l,n]} \vec{B}^{Th}(j, \vec{L}_{\theta_i}[n+2])}{N}$
Dans $Med(\theta_i\text{'},\theta_{-i})$, $\vec{bill}_{\theta'_i}[i] = -\dfrac{\sum_{r_j \in [k,n]} \vec{B}^{Th}(j, \vec{L}_{\theta'_i}[n+2])}{N}$
Or, on sait que :

$$\begin{aligned} \vec{L}_{\theta_i}[n+2] &\geq \vec{L}_{\theta'_i}[n+2] \\ \frac{\vec{B}^{Th}(j, \vec{L}_{\theta_i}[n+2])}{N} &\geq \frac{\vec{B}^{Th}(j, \vec{L}_{\theta'_i}[n+2])}{N} \text{ car } \vec{B}^{Th} \text{ est croissante} \end{aligned}$$

Les pairs notés de l à n dans la médiation $Med(\theta_i,\theta_{-i})$ correspondent aux pairs notés de k à n-1 dans la médiation $Med(\theta_i\text{'},\theta_{-i})$ comme on peut le voir sur la figure 3.6. Le pair noté n dans la médiation $Med(\theta_i\text{'},\theta_{-i})$ est réquisitionné en plus. On ne s'intéresse ici qu'aux pairs qui étaient déjà sélectionnés dans $Med(\theta_i,\theta_{-i})$. Ainsi, on a :

$$\begin{aligned} \frac{\sum_{j \in [l,n]} \vec{B}^{Th}(j, \vec{L}_{\theta_i}[n+2])}{N} &\geq \frac{\sum_{j \in [k,n-1]} \vec{B}^{Th}(j, \vec{L}_{\theta'_i}[n+2])}{N} \\ -\frac{\sum_{j \in [l,n]} \vec{B}^{Th}(j, \vec{L}_{\theta_i}[n+2])}{N} &\leq -\frac{\sum_{j \in [k,n-1]} \vec{B}^{Th}(j, \vec{L}_{\theta'_i}[n+2])}{N} \\ \vec{bill}_{\theta_i}[i] &\leq \vec{bill}_{\theta'_i}[i] \end{aligned}$$

Or, les utilités sont les suivantes :

$$\begin{aligned} u_i(\theta) &= v(\theta) - \vec{bill}_{\theta_i}[i] \\ u_i(\theta') &= -\vec{bill}_{\theta'_i}[i] \end{aligned}$$

On en déduit donc que $u_i(\theta) \geq u_i(\theta')$.

(b) $v(\theta_i) < 0$

i. $v(\theta'_i) > v(\theta_i)$

(*) $v(\theta'_i) \geq 0$

i reste sélectionné dans $Med(\theta_i\text{'},\theta_{-i})$ mais il n'est plus réquisitionné. Comme on peut le voir sur la figure 3.7, le pair $n + 2^{\text{ème}}$ auprès de qui se base la facturation pour la participation à la réquisition reste le même entre les deux médiations.

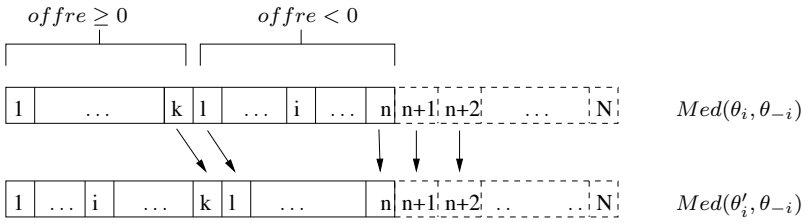


Figure 3.7 – Allocations réalisées en réquisition avec compétiteurs dans le cas 2.(a).ii.A.(*)

On souhaite : $u_i(\theta) \geq u_i(\theta')$

$$v(\theta_i) - (\vec{B}^{Th}_{\theta_i}(i, \vec{L}_{\theta_i}[n+1]) - \frac{\sum_{j\in[l,i-1]\cup[i+1,n]} \vec{B}^{Th}_{\theta_i}(j, \vec{L}_{\theta_i}[n+2])}{N} - \frac{\vec{B}^{Th}_{\theta_i}(i, \vec{L}_{\theta_i}[n+2])}{N}) \geq v(\theta_i) - (-\frac{\sum_{j\in[l,n]} \vec{B}^{Th}_{\theta'_i}(j, \vec{L}_{\theta'_i}[n+2])}{N})$$

Les sommes $\sum_{j\in[l,i-1]\cup[i+1,n]} \vec{B}^{Th}_{\theta_i}(j, \vec{L}_{\theta_i}[n+2])$ *et* $\sum_{j\in[l,n]} \vec{B}^{Th}_{\theta'_i}(j, \vec{L}_{\theta'_i}[n+2])$ *correspondent à la participation de la réquisition des mêmes pairs (voir figure 3.7) et équivaut donc à la même valeur. On a alors :*

$$-(\vec{B}^{Th}_{\theta_i}(i, \vec{L}_{\theta_i}[n+1])) + \frac{\vec{B}^{Th}_{\theta_i}(i, \vec{L}_{\theta_i}[n+2])}{N} \geq 0$$

Cela correspond donc au montant de la facturation de i pour sa propre sélection, ainsi que de sa compensation.

(**) $v(\theta'_i) < 0$

i reste sélectionné. Le $n+2^{\text{ème}}$ *pair dans les résultats des médiations n'a pas changé : la facturation est toujours calculée par rapport à lui. Les utilités sont donc identiques.*

ii. $v(\theta'_i) < v(\theta_i)$

(*) i est toujours sélectionné dans $Med(\theta_i', \theta_{-i})$ *:*

Nous nous référons au cas 2.ii.A.(**).

(**) i n'est plus sélectionné dans $Med(\theta_i', \theta_{-i})$ *:*

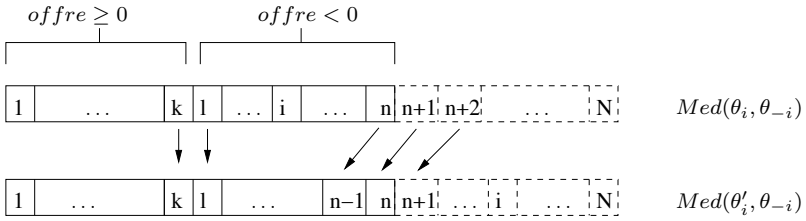


Figure 3.8 – Allocations réalisées en réquisition avec compétiteurs dans le cas 2.(a).ii.B.(**)

On veut :

$$u_i(\theta) \geq u_i(\theta')$$

$$v(\theta_i) - \vec{B}^{Th}_{\theta_i}(i, \vec{L}_{\theta_i}[n+1]) + \frac{\vec{B}^{Th}_{\theta_i}(i, \vec{L}_{\theta_i}[n+2])}{N} + \frac{\sum_{j\in[l,i-1]\cup[i+1,n]} \vec{B}^{Th}_{\theta_i}(j, \vec{L}_{\theta_i}[n+2])}{N} \geq \frac{\sum_{j\in[l,n-1]} \vec{B}^{Th}_{\theta'_i}(j, \vec{L}_{\theta'_i}[n+2])}{N} + \frac{\vec{B}^{Th}_{\theta'_i}(n, \vec{L}_{\theta'_i}[n+2])}{N}$$

or, $\dfrac{\sum_{j\in[l,i-1]\cup[i+1,n]} \vec{B}^{Th}_{\theta_i}(j,\vec{L}_{\theta_i}[n+2])}{N} \geq \dfrac{\sum_{j\in[l,n-1]} \vec{B}^{Th}_{\theta'_i}(j,\vec{L}_{\theta'_i}[n+2])}{N}$ *et*
$\dfrac{\vec{B}^{Th}_{\theta_i}(i,\vec{L}_{\theta_i}[n+2])}{N} \geq \dfrac{\vec{B}^{Th}_{\theta'_i}(n,\vec{L}_{\theta'_i}[n+2])}{N}$

On arrive donc à :

$$\begin{aligned}
v(\theta_i) - \vec{B}^{Th}_{\theta_i}(i,\vec{L}_{\theta_i}[n+1]) &\geq 0\\
v(\theta_i) + max((-\vec{L}_{\theta_i}[n+1])^{\frac{1}{\omega}} \times (\vec{Q}[i]+\varepsilon)^{\frac{1-\omega}{\omega}} - \varepsilon, 0) &\geq 0\\
v(\theta_i) + (-(-(-\vec{B}[n+1]+\varepsilon)^{\omega} \times (\vec{Q}[n+1]+\varepsilon)^{\omega-1}))^{\frac{1}{\omega}} \times (\vec{Q}[i]+\varepsilon)^{\frac{1-\omega}{\omega}} - \varepsilon &\geq 0\\
v(\theta_i) + (-\vec{B}[n+1]+\varepsilon)(\vec{Q}[n+1]+\varepsilon)^{\frac{\omega-1}{\omega}}(\vec{Q}[i]+\varepsilon)^{\frac{1-\omega}{\omega}} - \varepsilon &\geq 0 \qquad (3.9)
\end{aligned}$$

Or, on sait que :

$$\begin{aligned}
\vec{L}_{\theta_i}[i] &\geq \vec{L}_{\theta_i}[n+1]\\
-(-\vec{B}_{\theta_i}[i]+\varepsilon)^{\omega} \times (\vec{Q}[i]+\varepsilon)^{\omega-1} &\geq -(-\vec{B}[n+1]+\varepsilon)^{\omega} \times (\vec{Q}[n+1]+\varepsilon)^{\omega-1}\\
(-\vec{B}_{\theta_i}[i]+\varepsilon)^{\omega} \times (\vec{Q}[i]+\varepsilon)^{\omega-1} &\leq (-\vec{B}[n+1]+\varepsilon)^{\omega} \times (\vec{Q}[n+1]+\varepsilon)^{\omega-1}\\
(-\vec{B}_{\theta_i}[i]+\varepsilon)^{\omega} &\leq (-\vec{B}[n+1]+\varepsilon)^{\omega} \times (\vec{Q}[n+1]+\varepsilon)^{\omega-1}(\vec{Q}[i]+\varepsilon)^{1-\omega}\\
-\vec{B}_{\theta_i}[i]+\varepsilon &\leq (-\vec{B}[n+1]+\varepsilon) \times (\vec{Q}[n+1]+\varepsilon)^{\frac{\omega-1}{\omega}}(\vec{Q}[i]+\varepsilon)^{\frac{1-\omega}{\omega}}\\
0 &\leq \vec{B}_{\theta_i}[i] + (-\vec{B}[n+1]+\varepsilon) \times (\vec{Q}[n+1]+\varepsilon)^{\frac{\omega-1}{\omega}}(\vec{Q}[i]+\varepsilon)^{\frac{1-\omega}{\omega}} - \varepsilon
\end{aligned}$$

Or, $v(\theta_i) = \vec{B}_{\theta_i}[i]$
On arrive bien à l'inéquation (3.9). *On a ainsi prouvé que* $u_i(\theta) \geq u_i(\theta')$.

2. *i n'est pas sélectionné dans* $Med(\theta_i,\theta_{-i})$ *:*
   (a) $v(\theta'_i) > v(\theta_i)$
      i. $v(\theta'_i) \geq 0$
      i devient sélectionné dans $Med(\theta_i',\theta_{-i})$. *Il ne reçoit aucune compensation pour sa sélection vu qu'il ne fait pas partie des réquisitionnés, bien que normalement, il ne désirait pas faire la requête.*
      ii. $v(\theta'_i) < 0$
      * *i n'est toujours pas sélectionné dans* $Med(\theta_i',\theta_{-i})$ *:*
      Sa facturation reste la même vu que ce sont les mêmes pairs qui sont sélectionnés. Son utilité reste donc elle aussi égale à son utilité dans $Med(\theta_i,\theta_{-i})$.
      ** *i est maintenant sélectionné dans* $Med(\theta_i',\theta_{-i})$ *:*

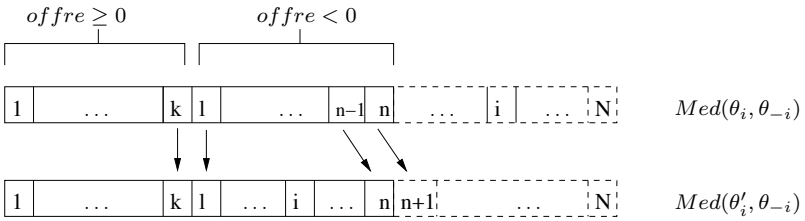


Figure 3.9 – Allocations réalisées en réquisition avec compétiteurs dans le cas 2.(b).i.B.(**)

$$\begin{array}{rcl}
u_i(\theta) & \geq & u_i(\theta') \\
-\vec{bill}_{\theta_i}[i] & \geq & v(\theta) - \vec{bill}_{\theta'_i}[i] \\
\dfrac{\sum_{j\in[l,n]} \vec{B}^{Th}_{\theta_i}(j, \vec{L}_{\theta_i}[n+2])}{N} & \geq & v(\theta_i) + \dfrac{\sum_{j\in[l,n]} \vec{B}^{Th}_{\theta'_i}(j, \vec{L}_{\theta'_i}[n+2])}{N} - \vec{B}^{Th}_{\theta'_i}(i, \vec{L}_{\theta'_i}[n+1]) \\
\dfrac{\sum_{j\in[l,n]} \vec{B}^{Th}_{\theta_i}(j, \vec{L}_{\theta_i}[n+2])}{N} - \dfrac{\sum_{j\in[l,n]} \vec{B}^{Th}_{\theta'_i}(j, \vec{L}_{\theta'_i}[n+2])}{N} & \geq & v(\theta_i) - \vec{B}^{Th}_{\theta'_i}(i, \vec{L}_{\theta'_i}[n+1])
\end{array}$$

Or, $\vec{B}^{Th}$ *est croissante et* $\vec{L}_{\theta_i}[n+2] \leq \vec{L}_{\theta'_i}[n+2]$*, on a donc :*

$$\frac{\sum_{j\in[l,n]} \vec{B}^{Th}_{\theta_i}(j, \vec{L}_{\theta_i}[n+2])}{N} \leq \frac{\sum_{j\in[l,n]} \vec{B}^{Th}_{\theta'_i}(j, \vec{L}_{\theta'_i}[n+2])}{N}$$

D'où, $\dfrac{\sum_{j\in[l,n]} \vec{B}^{Th}_{\theta_i}(j, \vec{L}_{\theta_i}[n+2])}{N} - \dfrac{\sum_{j\in[l,n]} \vec{B}^{Th}_{\theta'_i}(j, \vec{L}_{\theta'_i}[n+2])}{N} \leq 0$

Ce qui entraîne :

$$\begin{array}{rcl}
0 & \geq & v(\theta_i) - \vec{B}^{Th}_{\theta'_i}(i, \vec{L}_{\theta'_i}[n+1]) \\
0 & \geq & v(\theta_i) - (-((-\vec{L}_{\theta'_i}[n+1])^{\frac{1}{\omega}}(\vec{Q}[i]+\varepsilon)^{\frac{1-\omega}{\omega}} - \varepsilon)) \\
0 & \geq & v(\theta_i) + (-\vec{L}_{\theta'_i}[n+1])^{\frac{1}{\omega}}(\vec{Q}[i]+\varepsilon)^{\frac{1-\omega}{\omega}} - \varepsilon \\
0 & \geq & v(\theta_i) + (-\vec{B}[n+1]+\varepsilon)(\vec{Q}[n+1]+\varepsilon)^{\frac{\omega-1}{\omega}}(\vec{Q}[i]+\varepsilon)^{\frac{1-\omega}{\omega}} - \varepsilon \quad (3.10)
\end{array}$$

Or, on sait que :

$$\begin{array}{rcl}
\vec{L}_{\theta_i}[i] & \leq & \vec{L}_{\theta'_i}[n+1] \\
-(-\vec{B}_{\theta_i}[i]+\varepsilon)^{\omega} \times (\vec{Q}[i]+\varepsilon)^{\omega-1} & \leq & -(-\vec{B}[n+1]+\varepsilon)^{\omega} \times (\vec{Q}[n+1]+\varepsilon)^{\omega-1} \\
(-\vec{B}_{\theta_i}[i]+\varepsilon)^{\omega} \times (\vec{Q}[i]+\varepsilon)^{\omega-1} & \geq & (-\vec{B}[n+1]+\varepsilon)^{\omega} \times (\vec{Q}[n+1]+\varepsilon)^{\omega-1} \\
(-\vec{B}_{\theta_i}[i]+\varepsilon)^{\omega} & \geq & (-\vec{B}[n+1]+\varepsilon)^{\omega} \times (\vec{Q}[n+1]+\varepsilon)^{\omega-1}(\vec{Q}[i]+\varepsilon)^{1-\omega} \\
-\vec{B}_{\theta_i}[i]+\varepsilon & \geq & (-\vec{B}[n+1]+\varepsilon) \times (\vec{Q}[n+1]+\varepsilon)^{\frac{\omega-1}{\omega}}(\vec{Q}[i]+\varepsilon)^{\frac{1-\omega}{\omega}} \\
\vec{B}_{\theta_i}[i] & \leq & -(-\vec{B}[n+1]+\varepsilon) \times (\vec{Q}[n+1]+\varepsilon)^{\frac{\omega-1}{\omega}}(\vec{Q}[i]+\varepsilon)^{\frac{1-\omega}{\omega}} + \varepsilon \\
0 & \geq & \vec{B}_{\theta_i}[i] + (-\vec{B}[n+1]+\varepsilon) \times (\vec{Q}[n+1]+\varepsilon)^{\frac{\omega-1}{\omega}}(\vec{Q}[i]+\varepsilon)^{\frac{1-\omega}{\omega}} - \varepsilon
\end{array}$$

Or, $v(\theta_i) = \vec{B}_{\theta_i}[i]$ *: on arrive donc bien à l'inéquation* (3.10).

(b) $v(\theta'_i) < v(\theta_i)$ *:*

i reste non sélectionné dans $Med(\theta_i', \theta_{-i})$*, ainsi, cela n'affecte pas la facturation et les pairs sélectionnés. Son utilité reste donc identique à celle qu'il avait dans* $Med(\theta_i, \theta_{-i})$*.*

Dans cette démonstration, sur l'ensemble des cas possibles, nous avons montré que seul le cas 1.(a).ii.(*).(++) bloque la médiation flexible d'être incentive compatible. Ce cas représente une faible partie des cas possibles en réquisition. Le pair prend tout de même un risque en appliquant cette politique car à la base, il souhaite réaliser la requête.

3.6.1.3 Rationalité individuelle

Nous étudions maintenant la propriété de **rationalité individuelle** dont nous avons explicitée le principe dans la définition 1.13. Elle permet de garantir que le pair a une motivation à participer au processus de médiation par le fait que son utilité en participant est supérieure ou égale à celle qu'il aurait eue en ne participant pas. Cela assure au processus que les pairs capables de réaliser les requêtes ont une motivation à participer plutôt qu'à ne rien faire.

Dans le cas de la médiation flexible, nous étudions seulement la rationalité individuelle des représentants. En effet, cela n'a aucun sens d'étudier la motivation des initiateurs à participer : s'ils ne participent pas, les requêtes ne sont pas soumises et alors, le processus de médiation n'a pas lieu. La motivation du fournisseur est, quant à elle, liée à celle de son représentant, celui-ci étant intégré au processus dans ce but. Nous avons fixé l'utilité $\overline{u}_r$ de non participation d'un représentant r (section 2.2.5) à 0. Nous avons adopté cette valeur car le fournisseur n'a pas de coût de fonctionnement ou autre à gérer, par conséquent son représentant non plus.

Nous étudions la propriété de rationalité individuelle pour la médiation flexible en séparant le mode compétition du mode réquisition.

Propriété 3.2. : Rationalité individuelle de la médiation flexible en compétition
En compétition, la médiation flexible est individuellement rationnelle :

$$\forall r \in \mathcal{R}, u_r \geq \overline{u}_r$$

DÉMONSTRATION 3.12. *L'utilité d'un représentant r est définie comme étant (définition 2.14) :*

$$u_r(\theta, lo) = \vec{alloc}[r] \times v_r(\theta, lo) - \vec{bill}[r]$$

La charge lo et le type θ du représentant n'intervenant pas dans la suite, nous les supprimons des notations. Quatre cas peuvent alors se présenter, ils sont résumés dans la table suivante.

Pour une requête req	Obtention	
	oui	non
$v_r \geq 0$	**cas a**	**cas b**
$v_r < 0$	**cas c**	**cas d**

Table 3.6 – Cas possibles en compétition

Cette démonstration a pour but de prouver que l'utilité du représentant lorsqu'il participe au processus est toujours positive ou nulle lorsque la médiation flexible s'applique en mode de compétition. Par conséquent, cela entraîne que son utilité est supérieure ou égale à celle qu'il aurait eue en ne participant pas, vu que celle-ci est fixée à 0.

1. *Cas b et d :*
   Lorsque le représentant r n'a pas obtenu la requête, nous avons $\vec{alloc}[r] = 0$. De plus, selon la définition 3.5, sa facture est nulle ($\vec{bill}[r] = 0$). À partir de ces données, nous obtenons que l'utilité de ce représentant est nulle. Elle est égale à son utilité de non participation.

2. *Cas c :*
   Le cas c *(obtention avec v_r<0) représente un cas impossible dans le contexte d'une compétition. En effet, un représentant ayant une évaluation négative (il ne désire pas traiter la requête) ne peut pas obtenir la requête.*
3. *Cas a :*
   Il ne reste plus que le cas a *à étudier. Comme le représentant est sélectionné, $\vec{alloc}[i]$ est égal à 1. L'utilité du représentant correspond alors à la formule :*

$$u_r = v_r - \vec{bill}[r]$$

   De plus, on sait que l'évaluation et la facture du représentant sont positives ou nulles, respectivement par hypothèse et par définition. La facturation demandée au représentant est directement liée à son offre. Cette dernière est obtenue à partir de l'évaluation et du solde monétaire du représentant (voir figure 2.4). On différencie deux cas dans notre étude, soit le solde est nul, soit il est strictement positif.

   (a) *Dans le cas où le solde est nul, l'offre qui en découle est nulle elle aussi. En effet, elle ne peut pas être négative car le représentant désire réaliser la requête mais aussi, il ne peut pas enchérir plus que son solde. D'après le théorème 3.5, en compétition, l'offre est toujours supérieure ou égale à la facture. Or, ici, l'offre est nulle, la facture a donc pour valeur 0 (car elle ne peut pas être négative en compétition).*
   Ainsi, on obtient pour l'utilité :

$$u_r = v_r - \vec{bill}[r] = v_r$$

   Comme nous sommes dans le cas a, *nous savons que l'évaluation est positive ou nulle. Ainsi, nous avons démontré que l'utilité du représentant est positive ou nulle lorsque le solde monétaire est nul.*

   (b) *Nous étudions maintenant le cas où le solde est strictement positif, en le comparant à l'évaluation faite par le représentant.*

      i. *On considère tout d'abord que l'évaluation est inférieure au solde. L'offre correspond ainsi à l'évaluation. D'après le théorème 3.5, en compétition, la facture est inférieure à l'offre d'où, $v_r \geq \vec{bill}[r]$.*
         On obtient alors : $u_r = v_r - \vec{bill}[r]$. Cela aboutit à $u_r \geq 0$
      ii. *Enfin, lorsque le solde est inférieur à l'évaluation, le solde correspond à l'offre. En utilisant le théorème 3.5, on obtient alors :*

$$\begin{aligned} solde &\geq \vec{bill}[r] \\ \text{Or, par hypothèse, } v_r &\geq solde \\ \text{D'où, } v_r &\geq \vec{bill}[r] \\ u_r &\geq 0. \end{aligned}$$

Ainsi, après avoir étudié tous les cas pouvant se présenter en compétition, nous avons démontré que l'utilité d'un représentant est toujours positive ou nulle. On peut donc dire qu'en compétition, la médiation flexible est individuellement rationnelle.

□

Nous passons maintenant à l'étude du mode réquisition. On constate malheureusement que la médiation flexible n'a pas cette propriété en réquisition.

Propriété 3.3. : Non rationalité individuelle de la médiation flexible en réquisition
En réquisition, la médiation flexible n'est pas individuellement rationnelle.

DÉMONSTRATION 3.13. *Nous nous plaçons dans le cas où un seul pair r_i est réquisitionné. Dans le cas de plusieurs réquisitions, cette démonstration peut être facilement généralisée.*

Concernant le représentant r_j ($\neq r_i$) que nous étudions, il ne désire pas traiter la requête proposée (v_{r_j} <0) et n'a pas été sélectionné pour la faire ($\vec{alloc}[r_j] = 0$). Ainsi, nous obtenons pour son utilité la valeur suivante :

$$u_{r_j} = -\vec{bill}[r_j].$$

Or, la facturation du représentant r_j n'est pas nulle car il participe à la réquisition du représentant r_i. Par définition, le signe de sa facturation est positif. Ainsi, nous obtenons une utilité négative.

La médiation flexible ne garantit donc pas la rationalité individuelle dans le cas de la réquisition.

La propriété de rationalité individuelle est liée à la liberté qu'ont les pairs à refuser de participer au processus de médiation. Lorsqu'ils participent à la médiation flexible, ils ne peuvent pas refuser de traiter une requête mais ils ont la possibilité de montrer leur désintérêt pour la requête en faisant une offre négative. Le médiateur peut les forcer à réaliser une requête contre leur gré et aussi imposer à tout le monde de payer pour cette réquisition. C'est pour cette raison que la médiation flexible n'est pas individuellement rationnelle en réquisition. Mais, le fait de ne pas avoir cette propriété dans ce mode, permet d'assurer aux initiateurs d'avoir des réponses. En économie, des travaux [34, 38, 26, 58, 13] ont abordé la question de la rationalité collective permettant de compenser en partie la propriété de rationalité individuelle. Nous nous sommes intéressés en particulier au travail de Billot [8]. Il s'est attaché à étudier les liens sociaux pouvant exister entre les individus d'un groupe et la loyauté qui peut en découler à l'égard de ce groupe. Cette notion indique que, quand les individus sont loyaux envers leur groupe, ils peuvent tolérer de perdre quelque chose (utilité) lors de l'aboutissement d'un processus si c'est bénéfique pour le reste du groupe ou pour un sous ensemble de ce groupe. Dans le cas de la médiation flexible en réquisition, le processus oblige que le médiateur impose la requête à un pair (ou plusieurs). Pour le bien-être du pair réquisitionné, on peut considérer que les autres pairs acceptent de perdre une part de leur utilité en dédommageant ce pair. On peut dire qu'ils sont loyaux envers ce pair et envers l'ensemble des fournisseurs, vu qu'ils participent tous (même le réquisitionné) au même niveau pour la réquisition. Ils sont également loyaux vis-à-vis des initiateurs dans le sens que la réquisition permet à ces derniers d'avoir le nombre de réponses qu'ils souhaitent (dans la limite du nombre de fournisseurs capables de traiter la requête). Les pairs ne considèrent pas la loyauté comme un sacrifice mais plutôt comme un soutien aux autres, pensant qu'eux-mêmes peuvent être concernés la prochaine fois.

3.6.1.4 Équilibre budgétaire

La propriété d'**équilibre budgétaire** (*budget-balanced*) permet de garantir que l'argent en circulation dans le processus reste dans le processus et n'est pas détruit (en résumé, que cet argent n'est pas perdu ou utilisé pour un autre emploi que celui du processus).

Propriété 3.4. Équilibre budgétaire [56] :
Soit ($\vec{alloc}_{req}$,$\vec{bill}_{req}$) le résultat d'un processus de médiation pour une requête $req \in \mathcal{R}eq$. Ce processus

de médiation géré par m est budgétairement équilibré si :

$$\sum_{p \in \mathcal{P}_m^{req}} \vec{bill}[p] = 0$$

La propriété 3.1 de non déficit garantit que le médiateur ne subventionne pas une médiation mais qu'il peut par contre gagner de l'argent. La propriété d'équilibre budgétaire présentée dans cette section s'intéresse plus au processus en général. La médiation flexible ne respecte pas la propriété 3.4 car l'ensemble des paiements peut être positif. Toutefois, le médiateur de la médiation flexible redistribue l'argent qu'il a pu gagner. Ce principe de réattribution permet un équilibrage des échanges monétaires entre le médiateur et les représentants. Cependant, comme ce fonctionnement ne fait pas partie intégrante du processus de médiation, nous ne pouvons pas considérer que la médiation flexible est budgétairement équilibrée. Pour cette raison, nous introduisons la propriété suivante nommée **faible équilibre budgétaire** (*weakly budget-balanced*).

Propriété 3.5. Faible équilibre budgétaire [56] :
Soit ($\vec{alloc}_{req}$,$\vec{bill}_{req}$) le résultat d'un processus de médiation pour une requête $req \in \mathcal{R}eq$. Ce processus de médiation géré par m est faiblement budgétairement équilibré si :

$$\sum_{p \in \mathcal{P}_m^{req}} \vec{bill}[p] \geq 0$$

Toujours d'après la propriété 3.1, on en déduit que la médiation flexible respecte la définition 3.5 : elle est faiblement budgétairement équilibrée.

3.6.2 Propriétés sur le long terme

Nous avons vu dans la section 3.6.1.3 que la médiation flexible ne répondait pas aux exigences de la propriété de rationalité individuelle dans le cadre de la réquisition. Cependant, cette propriété est importante pour un processus de médiation car elle garantit que les pairs sont intéressés pour continuer à participer au processus. Dans la vie en général, nous sommes confrontés à des situations où nous ne souhaitons pas faire ce qui nous est demandé. Mais, nous les réalisons tout de même car nous savons qu'à long terme, cela peut nous être bénéfique. Nous avons alors décidé de définir une propriété de **rationalité individuelle sur le long terme** et de voir comment se comporte la médiation flexible dans ce contexte.

La raison qui nous a amené à étudier cette nouvelle propriété est la supposition que nous faisons selon laquelle les pairs ne sont pas amnésiques (*backward-looking peer*). En effet, ils ont la possibilité de se souvenir des résultats qu'ils ont rencontrés dans le passé et de pouvoir s'en servir lors de la médiation courante afin de savoir par exemple s'ils désirent quitter le processus ou non. Plusieurs travaux utilisent le principe de *backward-looking* comme [14, 12, 47]. Nous nous sommes focalisés plus particulièrement sur le travail présenté par Barucci [6] afin de présenter la non amnésie des pairs. Dans [6], Barucci s'intéresse à des mécanismes d'apprentissage récursifs afin d'étudier la détermination d'un équilibre. Pour cela, il utilise des pairs possédant une mémoire afin qu'ils puissent se souvenir des résultats passés. Ainsi, lorsqu'un pair doit prendre une décision sur le problème actuel, il se réfère aux données qu'il a en mémoire. Il les interprète en les pondérant : ainsi, il peut donner un poids plus important aux données les plus récentes par rapport aux données les plus anciennes, considérant que ces dernières sont moins

utiles pour se décider ; ou alors donner un poids similaire à toutes. Les travaux présentés par Barucci dans [6] ont pour but d'analyser l'influence que la taille de la mémoire peut avoir sur l'obtention d'un équilibre. Pour la médiation flexible et la propriété de rationalité individuelle à long terme, nous retenons l'utilisation de la mémoire et le fait que toutes les données, selon leur ancienneté, peuvent ne pas posséder la même importance.

L'idée de la propriété de **rationalité individuelle sur le long terme** est de permettre aux pairs de savoir si sur plusieurs tours, ils pourront être satisfaits du processus auquel ils sont abonnés, celui-ci ne le garantissant pas sur un tour en cas de réquisition. Les pairs laissent alors l'opportunité au processus de prouver qu'il est capable de les satisfaire. En effet, un pair non satisfait sur un tour pourrait décider tout de suite de partir car il a été lésé par la dernière médiation passée. Cependant, il est possible qu'en étudiant son passé, ce pair déçu sur le dernier tour constate avoir été satisfait lors des dernières médiations et décide donc de rester. Il mémorise les informations relatives aux médiations passées dans sa mémoire. Comme on l'a indiqué dans la description de Barucci [6], le pair favorise le passé le plus récent par rapport au plus ancien. Nous utilisons ce principe mais sans la partie pondération mise en place par Barucci. Nous utilisons une autre technique que nous présentons dans la suite.

Dans le cadre de notre étude, nous avons besoin de deux éléments pour reconstituer le passé d'un pair pe concernant la médiation d'une requête req :

- le résultat de la médiation le concernant. Ce résultat est constitué de deux parties : l'allocation $\vec{alloc_{req}}[pe]$ et la facturation $\vec{bill_{req}}[pe]$
- l'évaluation v_{req} faite pour la requête en question.

De plus, le pair n'a besoin de mémoriser que les informations qui lui sont réellement utiles, à savoir les informations sur les médiations lui ayant apportées une satisfaction non nulle. Le pair ne retient pas les médiations où il a obtenu une satisfaction nulle car celles-ci peuvent être nombreuses selon le nombre de pairs appartenant au processus ou elles peuvent correspondre à des médiations où il n'a pu participer car il ne savait pas réaliser les requêtes proposées. La mémoire de ce pair ne concerne que des médiations appartenant à des séquences de médiations utiles (définition 2.8). Elle est constituée des résultats Med_i (allocations et facturations) des médiations liées à la séquence de médiations utiles ainsi que les évaluations v_i que le pair a fait sur les requêtes de cette séquence. Un couple (Med_i,v_i) propre à une médiation i, lui permet de recalculer son utilité pour cette médiation à tout moment (définition 2.14). Ainsi, il lui est facile de calculer la somme globale de ses utilités pour une séquence utile donnée.

Définition 3.9. : Mémoire d'un pair dans un processus
Soient $PMed$ un processus de médiation, pe un pair, (Med_{req_1},...,Med_{req_l}) la séquence utile de médiations de longueur $Tmem_{pe}$ du pair pe. La mémoire du pair pe est représentée par un tableau mem_{pe} de taille $Tmem_{pe}$ constitué de couples (Med_i,v_i) où $mem_{pe}[1]$ est le couple le plus récent. Lorsque la mémoire est pleine et qu'une nouvelle médiation arrive, la plus ancienne est retirée de la mémoire.

Nous notons $|mem_{pe}|$ le nombre de couples contenus dans la mémoire du pair pe. En effet, celle-ci peut ne pas être complètement remplie à cause d'une arrivée récente du pair dans le processus. Sa mémoire est considérée comme pleine lorsque $|mem_{pe}|$ est égal à $Tmem_{pe}$. Tous les pairs du système ne disposent pas de la même taille $Tmem$ de mémoire.

L'intuition sur laquelle se base la définition est que, si un pair dispose d'une séquence utile de médiations de longueur l à partir de la médiation la plus récente, cette séquence lui suffit pour être globalement satisfait du processus. Nous disons alors qu'il est l-Individuellement Rationnel. Pour arriver à ce résultat, deux visions de la situation apparaissent. Tout d'abord, si sa mémoire ne contient pas au moins l médiations, il laisse une chance au processus car celui-ci n'a pas encore eu le temps de montrer ses avantages ou ses inconvénients. Le pair attend de voir ce qui se passera dans le futur. Ensuite, une fois

sa mémoire entièrement remplie, plusieurs possibilités peuvent se présenter. Tout d'abord, il ne regarde que la dernière médiation à laquelle il a participé (la plus récente) : s'il a été satisfait, son étude s'arrête là considérant que le processus lui est bénéfique dans l'immédiat. Cependant, si ce n'est pas le cas, il remonte dans son passé afin de déterminer s'il est satisfait ou non du processus selon ce qu'il a mémorisé. Pour cela, il n'est pas forcé de vérifier sa satisfaction sur la totalité de la longueur de sa mémoire. L'objectif est de trouver dans la mémoire une séquence de médiations de longueur l' ($l' \leq l$), commençant à la dernière médiation à laquelle le pair a participé ($mem[1]$) lui permettant d'avoir une utilité globale (définition 2.18) supérieure à celle qu'il aurait pu avoir en ne participant pas à cette même sous-séquence (voir $\overline{u}_{pe}$ dans la section 2.2.5). Si cette sous-séquence existe, alors le pair considère que le processus le satisfait. Nous nous intéressons à une sous séquence car si dans les médiations les plus récentes le processus le satisfait, c'est suffisant pour le pair pour le décider à rester. Le passé le plus ancien peut être considéré comme ayant peu d'influence car il a pu se dérouler sur une période de temps assez éloignée selon l'activité du processus. Il pourrait être reproché que dans le cas où les dernières médiations ne sont pas bénéfiques au pair, il pourrait souhaiter partir, ne voulant pas remonter plus loin dans son passé. Nous considérons que le pair est de nature optimiste et qu'il préfère remonter le plus loin possible dans son passé, c'est-à-dire toute sa mémoire afin de vérifier si avant cette période néfaste, le processus ne lui a pas globalement apporté des résultats satisfaisants car cela lui apporte une certaine stabilité de sa situation.

Définition 3.10. : $l-$Rationalité Individuelle d'un pair dans un processus de médiation
Soient $PMed$ un processus de médiation, pe un pair à mémoire mem_{pe} de longueur $Tmem_{pe}$. Soit la condition $Tmem_{pe} \geq l$. Le pair pe est dit $l-$Individuellement Rationnel si et seulement si :

1. $|mem_{pe}| < l$,
2. *ou si* $|mem_{pe}| \geq l, \exists\, l', l' \in [1..l]$ *tel que* $\sum_{j=1}^{l'} u_{pe}(Med_j, v_j) \geq \sum_{j=1}^{l'} \overline{u}_{pe}(Med_j, v_j)$

avec v_j l'évaluation pour la médiation Med_j.

Nous pouvons maintenant définir la propriété de transitivité croissante de la $l-$Rationalité Individuelle :

Propriété 3.6. : Transitivité croissante de la $l-$Rationalité Individuelle
$\forall l, l' \in \mathbb{N}^+$ tel que $l' \geq l$. Si un pair pe est l-Individuellement rationnel, alors il est $l'-$Individuellement rationnel.

La démonstration est triviale : si pour un pair, une longueur de mémoire l lui suffit pour être $l-$Individuellement Rationnel, alors si la longueur est plus grande, il ignorera simplement les médiations mémorisées en plus dans le calcul de son utilité globale.

Nous présentons ensuite une propriété reliant la propriété de **rationalité individuelle** sur un tour avec celle énoncée sur le long terme dans le cas d'un processus individuellement rationnel.

Propriété 3.7. : Rationalité Individuelle et $1-$Individuellement Rationnel
Soit $PMed$ un processus de médiation. Le processus $PMed$ est Individuellement Rationnel si et seulement si, il est $1-$Individuellement Rationnel.

DÉMONSTRATION 3.14. *Si un processus de médiation $PMed$ est Individuellement Rationnel sur un tour, cela signifie que l'utilité de chacun des participants est positive ou nulle pour n'importe quelle médiation qui leur est proposée.*

Ainsi, le pair participant peut avoir une mémoire de longueur 1 *: cela lui suffit pour savoir que le processus de médiation lui est favorable. Cette longueur de mémoire lui assure d'avoir une utilité positive et ainsi, on peut dire que le participant est* $1-$*Individuellement Rationnel.*

Déterminer la valeur de l permettant qu'un processus soit l-Individuellement Rationnel dépend des successions de médiations rencontrées. Par exemple, si le médiateur ne traite que des requêtes en mode compétition, la médiation flexible est 1-Individuellement Rationnelle comme nous avons pu le démontrer dans la propriété 3.2. Ainsi, seules des simulations pourraient résoudre le problème de trouver la valeur de l car les successions de requêtes possibles sont très nombreuses. Elles seront réalisées dans des travaux futurs. Nous présentons ici un exemple mettant en application la définition 3.10 sur la l-Rationalité Individuelle d'un pair. Cet exemple est présenté de manière générale, la médiation flexible s'appliquant tout à fait dans les résultats obtenus. Dans cet exemple, nous avons organisé la mémoire du pair de telle sorte que dans la séquence de médiations étudiée, les requêtes lui ayant apportées les plus mauvaises utilités soient classées en premières en tant que passé le plus récent, les meilleures comme les plus anciennes. Cette manière de fonctionner permet de réellement traiter l'ensemble des cas considérés comme étant les pires, les meilleurs cas étant indirectement inclus dedans.

Exemple 3.1 (Calcul de la valeur de l pour qu'un pair puisse être déclaré l-Individuellement Rationnel dans un cas particulier). *On s'intéresse au pair i sous les hypothèses suivantes :*

- *2 types de requêtes r_1 et r_2 :*
  - *i désire réaliser la requête r_1*
  - *i ne désire pas réaliser la requête r_2*
- *Un seul pair demandé par l'initiateur : $n = 1$.*
- *Distribution des requêtes :*
  Le pair i est sélectionné pour nbG compétitions et nbR réquisitions. Il est aussi concerné par nbS réquisitions où il n'est pas sélectionné. Ces requêtes constituent la séquence utile étudiée.
- *Le pair i possède une somme d'argent donnée lui garantissant de réaliser les offres nécessaires pour chaque nouvelle requête et de payer les factures résultant.*
- *Utilités obtenues (supposées fixes)*

u_i^G	*pour une sélection en compétition*	*avec* $u_i^G \geq 0$,
u_i^R	*pour une sélection en réquisition,*	
u_i^S	*pour un soutien lors d'une réquisition*	*avec* $u_i^S < 0$

- *L'utilité de non participation est fixée à 0 : cela n'apporte ni ne coûte rien au pair i de ne pas participer.*
- *Les requêtes apportant les moins bonnes qualités sont classées en premières, considérées comme étant le passé le plus récent. À l'inverse, les meilleures sont les plus anciennes.*

La valeur du l pour que ce pair soit l-Individuellement Rationnel peut être déterminée en fonction de u_i^G, u_i^R, u_i^S, nbG, nbR et nbS.

On définit : $u_i^M = max(u_i^G, u_i^R)$ et $u_i^m = min(u_i^G, u_i^R)$, $nbMax_i$ le nombre de requêtes correspondant à l'utilité maximale u_i^M(resp. $nbMin_i$ pour u_i^m) afin de simplifier cet exemple. On continuera à se servir des utilités u_i^G, u_i^R et u_i^Slorsque c'est nécessaire.

* *cas 1 : $u_i^G = 0$ et $u_i^R \leq 0$*

l n'existe pas

* *cas 2 : la somme des u_i^m suffit à compenser la somme des u_i^S avec $u_i^m > 0$:*

$$l \geq \ nbS * (1 - \frac{u_i^S}{u_i^m})$$

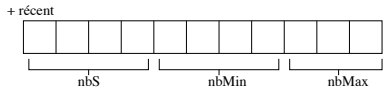


Figure 3.10 – Agencement de la mémoire du pair i dans l'exemple 3.1 sur la l-Rationalité Individuelle

* *cas 3 : la somme des u_i^m et u_i^M réunies compense la somme des u_i^S avec $u_i^m \geq 0$ ou la somme des u_i^M suffit à compenser la somme des u_i^S et les u_i^m avec $u_i^R < 0$*

$$l \ \geq \ nbS * (1 - \frac{u_i^S}{u_i^M}) + nbMin_i * (1 - \frac{u_i^m}{u_i^M})$$

* *cas 4 : la somme des u_i^m et u_i^M réunies ne compense pas la somme des u_i^S avec $u_i^R \geq 0$ ou la somme des u_i^M ne compense pas la somme des u_i^S et des u_i^m avec $u_i^R < 0$*

$$l > nbS + nbR + nbG$$

Nous présentons maintenant la démonstration qui nous a permis d'obtenir les résultats de l'exemple précédent.

DÉMONSTRATION 3.15 (: Valeur du l pour un pair l-Individuellement Rationnel). *L'objectif est de déterminer la valeur minimale de l sous les hypothèses énoncées dans la propriété 3.1 précédente. Cette valeur fixe la longueur de la mémoire suffisant à garantir la l-Rationalité Individuelle du pair i.*

Nous rappelons que la mémoire mem du pair i est représentée sous la forme d'un tableau, comme indiquée dans la définition 3.9. Chaque case contient un couple (Med_j,v_j) ou plus simplement, $mem[j]$ (j étant le numéro de la médiation dans la mémoire). On utilise les données contenues dans une case afin d'obtenir l'utilité correspondante.

Afin de réaliser cette démonstration, nous nous basons sur le pire ordonnancement possible des requêtes afin de pouvoir déterminer la valeur de l au plus juste. Cette valeur pourra alors être appliquée sur n'importe quelle autre séquence de requêtes, cette dernière étant au pire égale à la plus mauvaise séquence étudiée. Ainsi, nous plaçons en premier les requêtes où le pair soutient la réquisition d'un autre puis les requêtes en réquisition ou en compétition selon la valeur respective de leur utilité.

La question à résoudre est la suivante :

$$\exists \ ? \ l \in [1, \ldots, nbS + nbG + nbR] \ tel \ que \ \sum_{j=1}^{l} mem[j] \geq 0 \tag{3.11}$$

* *cas A :* $u_i^R \geq 0$

$$
\begin{aligned}
\textit{On veut obtenir :} \quad & \sum_{j=1}^{l} mem[j] \geq 0 \\
\Leftrightarrow \quad & \sum_{j=1}^{nbS} mem[j] + \sum_{j=nbS+1}^{l} mem[j] \geq 0 \\
\Leftrightarrow \quad & nbS * u_i^S + \sum_{j=nbS+1}^{l} mem[j] \geq 0 \\
\Leftrightarrow \quad & \sum_{j=nbS+1}^{l} mem[j] \geq -nbS * u_i^S \\
\Leftrightarrow \quad & \sum_{j=1}^{l-nbS} mem[j-nbS] \geq -nbS * u_i^S
\end{aligned} \tag{3.12}
$$

** *cas A.1 :* $u_i^G = u_i^R = 0$
l n'existe pas
** *cas A.2 :* $u_i^G \geq u_i^R \geq 0$

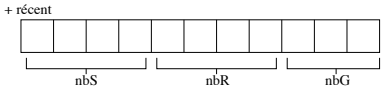


Figure 3.11 – Mémoire du pair quand $u_i^G \geq u_i^R \geq 0$

Ce cas est illustré sur la figure 3.11. Trois possibilités se présentent :
*** *cas A.2.a : La somme des* u_i^R *suffit à compenser la somme des* u_i^S
Ainsi, on sait que $l \in [nbS+1, \ldots, nbS+nbR]$

$$
\begin{aligned}
& \sum_{j=1}^{l-nbS} mem[j-nbS] \geq -nbS * u_i^S \\
\Leftrightarrow \quad & (l-nbS) * u_i^R \geq -nbS * u_i^S \\
\Leftrightarrow \quad & l - nbS \geq -\frac{nbS * u_i^S}{u_i^R} \\
\Leftrightarrow \quad & l \geq nbS - \frac{nbS * u_i^S}{u_i^R} \\
\Leftrightarrow \quad & l \geq nbS * (1 - \frac{u_i^S}{u_i^R})
\end{aligned}
$$

*** *cas A.2.b : La somme des* u_i^R *et des* u_i^G *réunies compense la somme des* u_i^S

Ainsi, on sait que $l \in [nbS + nbR + 1, \ldots, nbS + nbR + nbG]$

$$\begin{aligned}
& \sum_{j=1}^{l-nbS} mem[j - nbS] \geq -nbS * u_i^S \\
\Leftrightarrow\ & (l - nbS - nbR) * u_i^G + nbR * u_i^R \geq -nbS * u_i^S \\
\Leftrightarrow\ & (l - nbS - nbR) * u_i^G \geq -nbS * u_i^S - nbR * u_i^R \\
\Leftrightarrow\ & l - nbS - nbR \geq \frac{-nbS * u_i^S - nbR * u_i^R}{u_i^G} \\
\Leftrightarrow\ & l \geq nbS + nbR + \frac{-nbS * u_i^S - nbR * u_i^R}{u_i^G} \\
\Leftrightarrow\ & l \geq nbS * (1 - \frac{u_i^S}{u_i^G}) + nbR * (1 - \frac{u_i^R}{u_i^G})
\end{aligned}$$

**** cas A.2.c : La somme des* u_i^R *et des* u_i^G *réunies ne compense pas la somme des* u_i^S *:*
Alors, on a : $l > nbS + nbR + nbG$

*** cas A.3 :* $u_i^R > u_i^G \geq 0$
En utilisant un raisonnement similaire au précédent, on arrive à un résultat similaire au cas A.2, les rôles des compétitions étant inversées avec ceux des réquisitions.

** cas 2 :* $u_i^R < 0$
L'organisation de la mémoire est présentée sur la figure 3.12.

On veut obtenir : $\sum_{j=1}^{l} mem[j] \geq 0$

$$\begin{aligned}
\Leftrightarrow\ & \sum_{j=1}^{nbS} mem[j] + \sum_{j=nbS+1}^{nbS+nbR} mem[j] + \sum_{j=nbS+nbR+1}^{l} mem[j] \geq 0 \\
\Leftrightarrow\ & nbS * u_i^S + nbR * u_i^R + \sum_{j=nbS+nbR+1}^{l} mem[j] \geq 0 \\
\Leftrightarrow\ & \sum_{j=nbS+nbR+1}^{l} mem[j] \geq -nbS * u_i^S - nbR * u_i^R \\
\Leftrightarrow\ & \sum_{j=1}^{l-nbS-nbR} mem[j - nbS - nbR] \geq -nbS * u_i^S - nbR * u_i^R
\end{aligned}$$

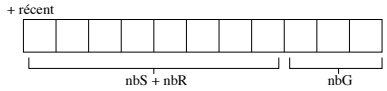


Figure 3.12 – Mémoire du pair quand $u_i^R < 0$

*** cas 2.1 :* $u_i^G = 0$ *:*
l n'existe pas

** *cas 2.2 : La somme des u_i^G suffit à compenser la somme des u_i^S et les u_i^R :*

$$\begin{aligned}
& \sum_{j=1}^{l-nbS-nbR} mem[j-nbS-nbR] \geq -nbS * u_i^S - nbR * u_i^R \\
\Leftrightarrow \quad & (l-nbS-nbR) * u_i^G \geq -nbS * u_i^S - nbR * u_i^R \\
\Leftrightarrow \quad & l-nbS-nbR \geq \frac{-nbS * u_i^S - nbR * u_i^R}{u_i^G} \\
\Leftrightarrow \quad & l \geq nbS + nbR + \frac{-nbS * u_i^S - nbR * u_i^R}{u_i^G} \\
\Leftrightarrow \quad & l \geq nbS * (1 - \frac{u_i^S}{u_i^G}) + nbR * (1 - \frac{u_i^R}{u_i^G})
\end{aligned}$$

** *cas 2.3 : La somme des u_i^G ne compense pas la somme des u_i^S et les u_i^R :*
Alors, on a : $l > nbS + nbG + nbR$

□

En se basant sur la définition 3.10, nous étudions maintenant comment exprimer la l-Rationalité Individuelle au niveau du processus lui-même.

Définition 3.11. : $l-$Rationalité Individuelle d'un processus de médiation
Soit $PMed$ un processus de médiation travaillant avec $\mathcal{P}$ pairs. $PMed$ est dit $l-$Individuellement Rationnel si et seulement si :

$$\forall\ pe \in \mathcal{P},\ pe \text{ est } l-\text{Individuellement Rationnel}$$

Chaque pair i l_i-Individuellement Rationnel a une valeur l_i qui lui est propre selon les requêtes qu'il a rencontrées (définition 3.10). Ainsi, selon la définition 3.11, pour que le processus soit $l-$Individuellement Rationnel, il est nécessaire de prendre la valeur l la plus faible parmi l'ensemble des valeurs l_i de tous les pairs l_i-Individuellement Rationnel permettant à chacun d'être $l-$Individuellement Rationnel. Cette conclusion se sert de la définition 3.6 sur la transitivité. Ainsi, si un pair est 3-Individuellement Rationnel, une taille de mémoire plus grande que 3 lui permet tout de même d'être 3-Individuellement Rationnel.

3.7 Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre la médiation flexible permettant de combiner à la fois la qualité des fournisseurs et les offres qu'ils ont faites. Faire intervenir la qualité permet de ne pas défavoriser les initiateurs par rapport aux fournisseurs qui lui sont proposés. En effet, ceux-ci ont été sélectionnés sur la qualité des informations qu'ils peuvent fournir. Les offres faites par les fournisseurs d'informations permettent à ces derniers d'exprimer leur intérêt sur les requêtes proposées. Ils peuvent ainsi favoriser leur chance d'obtenir une requête en faisant une offre élevée ou à l'inverse, indiquer par l'intermédiaire d'une offre négative qu'ils ne désirent absolument pas la traiter. Comme la sélection est basée sur les qualités et les offres des fournisseurs, la médiation flexible permet ainsi de prendre en compte à la fois les intérêts de l'ensemble des fournisseurs et ceux de l'initiateur qui a formulé la requête : chacune des deux parties a son intérêt personnel qui intervient dans la manière de calculer l'allocation.

Nous avons ensuite montré que la médiation flexible vérifie la propriété de **Pareto optimalité** qui indique que la sélection fournie est une des meilleures selon le processus utilisé. De plus, notre médiation est **faiblement budgétairement équilibrée**, ce qui garantit qu'aucune somme d'argent n'est perdue lors de la réalisation des médiations. Concernant la propriété d'***incentive compatibility***, nous avons vu que la médiation flexible la vérifiait dans le cadre de compétitions et de réquisitions pures. Seul un cas particulier en réquisition générale empêche la médiation flexible de l'être dans sa globalité. Ce cas est très spécifique car il correspond à un pair qui souhaite réaliser la requête mais qui se positionne comme étant un pair ne souhaitant pas la faire en faisant une offre négative. Il prend donc le risque de ne pas être sélectionné alors qu'il voulait la requête puisqu'il n'est pas sûr que le mode de réquisition soit appliqué. La médiation flexible possède la propriété de **rationalité individuelle** en compétition mais pas en réquisition. Nous avons introduit une propriété de rationalité individuelle plus faible, que nous avons nommée l**-Rationalité individuelle**. L'idée est qu'un pair puisse étudier, si besoin est, son passé afin de déterminer si le processus de médiation lui est profitable, même si des réquisitions sont appliquées. En effet, dans la vie courante, nous ne sommes pas nécessairement satisfaits de tout ce que l'on nous propose mais nous acceptons de réaliser certaines choses car nous savons qu'au final, nous nous y retrouvons. Ainsi, même si un pair n'a pas été satisfait sur les dernières médiations, il peut s'avérer que sur la globalité des requêtes que le médiateur lui a proposées, il peut être satisfait. La propriété de l-Rationalité individuelle correspond donc à de la rationalité individuelle sur le long terme, c'est-à-dire sur plusieurs tours du processus. Nous avons défini cette propriété d'abord pour un pair, puis pour un processus. Nous avons étudié de manière théorique la valeur que le l peut avoir pour un pair l-Individuellement Rationnel au travers des séquences de requêtes pouvant potentiellement être rencontrées.

Pour compléter l'étude théorique menée dans ce chapitre, nous présentons dans le chapitre suivant les expérimentations qui ont été réalisées sur la médiation flexible.

CHAPITRE 4

Implémentations et expérimentations

Dans le chapitre 3, nous avons présenté la médiation flexible puis nous l'avons étudié de manière théorique. Nous l'analysons maintenant au travers de diverses expérimentations. Nous voulons dans un premier temps examiner ses effets dans le but d'étudier si les suppositions que nous avons faites sur son fonctionnement et sur le comportement des pairs, se révèlent exactes. De plus, nous cherchons à mettre en avant l'utilité des différents paramètres de la médiation tels que la prise en compte de la qualité par rapport à l'offre via ω et n le nombre de fournisseurs demandés par l'initiateur dans sa requête.

Ensuite, nous la comparons avec trois autres processus de médiation. Ces derniers utilisent l'organisation générale que nous avons employée jusqu'ici, à savoir un médiateur, des initiateurs, des fournisseurs et leurs représentants. Mais, les pairs n'ont pas forcément les compétences que nous avons définies précédemment pour chacun. Ces processus correspondent à des contextes d'utilisation différents dans lesquels il est tout à fait possible d'implémenter la médiation flexible. Leur but est le même que celui de la médiation flexible, à savoir sélectionner n fournisseurs pour l'initiateur parmi l'ensemble des pairs capables de réaliser la requête. Mais pour remplir cet objectif, leur méthode d'attribution est différente :

- Tirage aléatoire : le médiateur effectue un tirage aléatoire afin de sélectionner les n fournisseurs parmi les pairs capables de réaliser la requête, où chacun a la même probabilité d'être sélectionné,
- Maximisation de l'utilité globale du système : le médiateur alloue la requête aux n fournisseurs permettant d'obtenir une maximisation de la somme globale de l'utilité du système en se servant des valeurs de l'utilité de l'initiateur et de celle des fournisseurs. Cependant, cette sélection n'entraîne pas nécessairement une maximisation de l'utilité de chaque pair,
- Répartition optimale de charge : le médiateur choisit les n fournisseurs qui permettent de proposer un temps de réponse minimal pour l'initiateur de la requête au moment où celle-ci est posée.

L'objectif de ces comparaisons est de se rendre compte si la médiation flexible possède des avantages sur ces processus ou tout du moins, si elle fait jeu égal avec eux. Elles ont aussi pour but de nous aider à déterminer si des conditions particulières permettent d'optimiser le fonctionnement de la médiation flexible.

4.1 Mise en œuvre des simulations de la médiation flexible

Pour réaliser les expérimentations permettant de mettre en pratique la médiation flexible (notée FM), nous avons décidé de l'implémenter en Java 1.4. Ce choix est motivé par le fait qu'au moment de commencer les simulations, nous avons cherché s'il existait un programme de simulations pour gérer des pairs donnant des résultats corrects, et nous n'en avons pas trouvé. Depuis, SimJava [68] s'est imposé comme un outil de simulation très pratique pour les simulations concernant les systèmes pair à pair.

Une fois le choix de Java retenu, nous avons dû décider comment nous allions implémenter la médiation flexible. Son fonctionnement ne se base pas sur l'arrivée d'évènements car les pairs ont un nombre d'actions données à réaliser qui ne sont pas spécifiquement dépendantes d'évènements. Ainsi, pour cette raison, nous n'avons pas choisi d'utiliser les *threads* Java. Nous avons implémenté un programme fonctionnant par cycle, à savoir que tous les pairs sont traités un à un séquentiellement. Lorsque c'est son tour d'être actif, un pair réalise toutes les opérations qui lui incombent, une fois fini, c'est au tour du pair suivant de rentrer en action.

Nous rappelons tout d'abord l'organisation du système sur la figure 4.1 afin de rappeler les liens existants entre chacun. Ensuite, afin d'implémenter la médiation flexible, nous avons dû faire tout un ensemble de choix tels que l'organisation du programme, son fonctionnement, comment représenter certaines données... Nous les présentons maintenant.

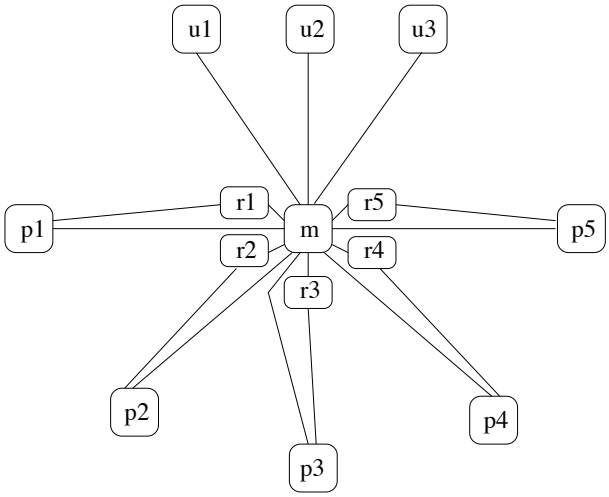


Figure 4.1 – Organisation du système

Tout d'abord, notre but premier est de mettre en œuvre la médiation dans un contexte où un grand nombre de pairs sont présents mais aussi où beaucoup de requêtes sont traitées. Ces deux conditions nous ont imposé de mettre en place une gestion du temps. Vu le choix de l'implémentation fonctionnant par cycle, nous avons décidé de définir le temps comme étant un **temps logique**. L'unité de temps est représentée par le top. Un top correspond à un cycle du programme, à savoir que le top se termine lorsque chacun des pairs interrogés a traité l'ensemble des actions qu'il pouvait. Ce fonctionnement séquentiel à l'intérieur d'un cycle est géré par le simulateur (classe *Simulateur* sur la figure 4.2).

- Nous avons défini une classe abstraite *Pair* permettant de gérer le comportement commun à tous les types de pairs présents et plus particulièrement la gestion des messages. En effet, les pairs utilisent des messages pour communiquer entre eux (à l'exception du médiateur et des représentants). Un pair possède un identifiant unique.
- La classe *Réseau* : les échanges de messages sont gérés par cette classe. Initialement, nous avions fait le choix que les échanges soient instantanés, à savoir que le temps de transit était nul. Or, afin de donner plus de réalité aux simulations, nous avons fixé le temps de transfert entre deux pairs à 1 top.
- Les classes abstraites des rôles de pairs : elles permettent de décrire le fonctionnement général de chaque type de pairs, quelque soit le processus simulé. Par exemple, la classe correspondant au fournisseur gère les abonnements/désabonnements auprès des médiateurs, l'envoi des préférences

à ses représentants... Celle de l'initiateur gère l'envoi des requêtes selon les critères que nous avons défini à sa création.

- Les instanciations des différents types de pairs : elles définissent le comportement de pairs du même type selon le processus mis en place. Par exemple, les classes correspondant aux médiateurs mettront en œuvre les différents processus tout en gardant le comportement général d'un médiateur défini dans sa classe abstraite.
- La classe *Simulateur* : elle a pour but de faire fonctionner le programme par cycle et de gérer l'interrogation de chaque pair afin de lui laisser le temps d'exécuter les actions qu'il doit faire dans un top. Il est en lien avec toutes les classes précédemment présentées.

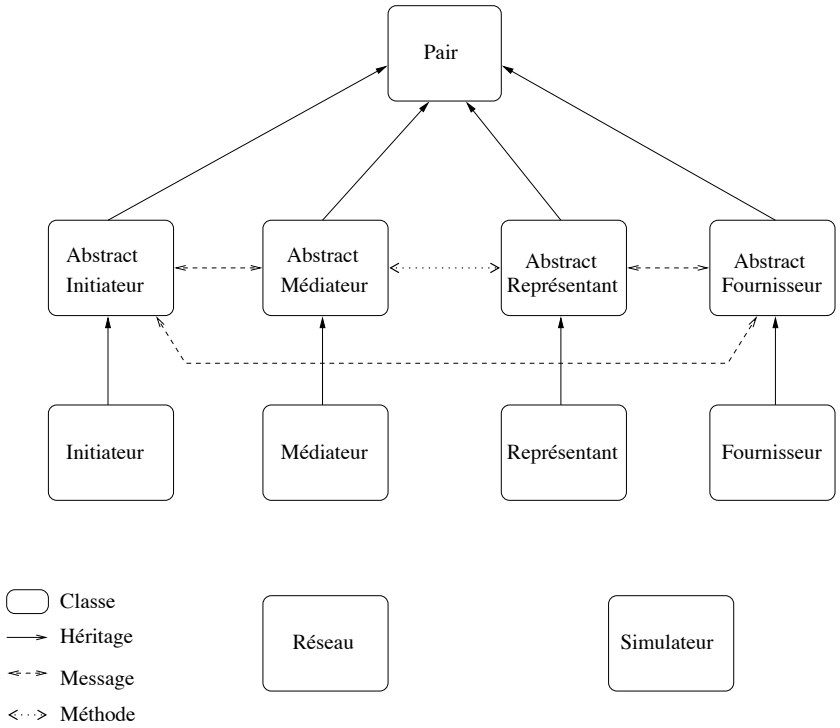


Figure 4.2 – Diagramme de classes du programme de simulation

Le représentant a été introduit dans la section 2.1.4 comme un pair nous permettant de différencier l'aspect social de l'aspect économique du fournisseur. Dans le cadre de l'implémentation, il nous a permis d'améliorer un autre point. En effet, sans sa présence, les échanges de messages entre le médiateur et le fournisseur seraient excessivement nombreux : au moins quatre par médiation. Il n'était pas concevable de garder ce fonctionnement vu qu'un message met au minimum un top à parvenir à son destinataire. Ainsi, le représentant (comme précédemment présenté) est créé localement chez le médiateur. La communication entre eux se fait ainsi d'une manière plus directe, par des appels de méthodes, ce qui rend les échanges quasi-instantanés.

Nous indiquons enfin quelques précisions sur des paramètres généraux, précisions indispensables à la compréhension du fonctionnement. Tout d'abord, les intervalles d'offres et de qualités. Les offres sont définies sur l'intervalle $[-200, 200]$ et les qualités sur $[0, 200]$. Ces intervalles ont été choisi afin d'exprimer ces données par des entiers naturels, chose qu'un intervalle tel que [-1,1] n'aurait pas permis. Nous précisons de plus que la qualité d'un fournisseur est déterminée par fournisseur et par requête. Nous

avons déjà indiqué que les représentants disposent d'un solde monétaire alloué par le médiateur lors de l'abonnement de son fournisseur. Ainsi, le montant total d'argent mis en circulation par le médiateur est proportionnel au nombre de représentants abonnés après de lui. Enfin, afin que les comparaisons entre deux processus soient cohérentes, l'ordre d'envoi des requêtes par l'initiateur est le même, et une requête est envoyée dans le même top pour chaque processus. De cette manière, le traitement au niveau du médiateur est similaire pour les deux processus.

4.2 Analyse du comportement de la médiation flexible sur un tour : comparaison avec un processus de tirage aléaoire

L'objectif de cette partie est d'observer le comportement de la médiation flexible lorsqu'une seule requête est lancée à l'interrogation. Le but de n'effectuer qu'un seul tour de médiation est de visualiser de manière simple le fonctionnement de la médiation flexible et de voir comment réagissent les pairs dans cette situation. Deux paramètres de la médiation sont importants dans les résultats pouvant être obtenus : ω et n. Nous rappelons que le premier permet de favoriser plus la qualité par rapport à l'offre ou vice-versa. Ainsi, le but recherché est de voir comment ω impacte sur le comportement des pairs, aussi bien les initiateurs que les fournisseurs. En effet, si ω est assez faible, le processus favorise la qualité des réponses fournies aux initiateurs tandis que si ω est fort, c'est l'intérêt des fournisseurs qui est mis en valeur. Ce paramètre traduit donc la flexibilité que la médiation peut avoir en s'adaptant aux circonstances environnantes. La deuxième partie des simulations se base sur la variation de n pour voir son influence au niveau des comportements des pairs. En effet, il est facile d'imaginer que sélectionner un pair ou l'ensemble de tous les pairs n'aura pas les mêmes conséquences sur les pairs. Les comportements des pairs influent d'autant que tous ont des caractéristiques différentes au niveau de leur offre et de leur qualité, et désirent ou non traiter la requête. Le paramètre n représente la sensibilité que peut avoir la médiation flexible au sujet de ses pairs.

Afin d'avoir un repère de comparaison pour les résultats que nous obtenons dans les simulations menées sur la médiation flexible sur un tour, nous avons choisi d'étudier notre médiation par rapport à un processus de tirage aléatoire (noté TA). Le médiateur de ce dernier choisit les n fournisseurs demandés par l'initiateur par un tirage aléatoire sur l'ensemble des fournisseurs capables de répondre à la requête, chacun ayant la même probabilité d'être sélectionné. La sélection se fait donc sur aucun des critères utilisés dans notre processus, à savoir l'offre et la qualité. Ainsi, le processus de tirage aléatoire ne prend en compte ni les intérêts des fournisseurs ni ceux des initiateurs. De plus, il n'établit pas de facture pour ses représentants. Il nous faut donc définir une utilité pour ces représentants ne prenant pas en compte la facturation, au contraire de l'utilité présentée pour les pairs de la médiation flexible (section 2.2).

Définition 4.1. *Soit r un représentant. Son utilité est définie par :*

$$u_r = \vec{allo}c[r] \times \vec{B}[r]$$

Concernant l'utilité des initiateurs, elle est définie de la même manière que celle de la médiation flexible, à savoir :

$$u_{us} = \frac{\sum_{j \in \widehat{\mathcal{P}_m^{req}}} \vec{Q}[j]}{n}$$

Cependant, en faisant un seul tirage aléatoire, on ne peut pas simuler correctement le hasard. Nous introduisons des probabilités dans les définitions des utilités, qui deviennent alors l'espérance moyenne des utilités. Nous redéfinissons les utilités de la manière suivante :

Définition 4.2. *L'espérance moyenne des utilités en Tirage Aléatoire est :*

$$\begin{aligned} u_{r_i} &= \textit{Pselect}(r_i) \times \vec{B}\,[r_i] \\ \textit{et } u_{us} &= \frac{\sum_{r_i \in \widehat{\mathcal{P}_m^{req}}} Pselect(r_i) \times \vec{Q}[r_i]}{n} \end{aligned}$$

avec Pselect$(r_i) = \dfrac{n}{N}$

Après avoir lancé un nombre conséquent de simulations, nous avons retenu les exemples qui nous semblent les plus parlants et que nous présentons maintenant. Ces résultats ont été publiés dans [41].

4.2.1 Choix des valeurs des paramètres

Nous considérons pour les simulations que le nombre de fournisseurs capables de réaliser la requête est fixé à 20. Ici, le but n'est pas de montrer le comportement de la médiation flexible dans un environnement contenant un grand nombre de pairs.

ω	entre 0.0 et 1.0
N	20
N^+	entre 0 et 20
n	entre 0 et 20
ratio $\dfrac{n}{N}$	0.35 / 0.5 / 0.7

Le paramètre N^+ correspond au nombre de fournisseurs ayant fait une offre positive. On peut en déduire le nombre d'offres négatives réalisées. Le ratio $\dfrac{n}{N}$ correspond à la probabilité d'être sélectionné durant la médiation dans le cadre de TA (cette probabilité n'intervient pas en FM). Nous étudions donc une probabilité de sélection assez faible (0.35), moyenne (0.5) et forte (0.7). Les qualités et offres des pairs ont été tirées de manière aléatoire par le programme.

Sur les graphiques présentés par la suite, nous illustrons les comportements des pairs. En effet, certains pairs possèdent le même comportement car ils ont des caractéristiques assez proches. Dans ce cas, nous avons traduit ce fait par une seule courbe sur les figures. La courbe représentée est celle de l'un des pairs concernés et non pas une moyenne. Les valeurs relatives aux autres pairs sont sensiblement les mêmes, pouvant varier de quelques unités. Ainsi, dans le but de ne pas surcharger les graphiques, nous ne représentons pas les résultats de tous les pairs mais ils sont tous affichés au travers des comportements communs choisis.

4.2.2 Analyse des variations de l'utilité des pairs en fonction d'oméga

4.2.2.1 Objectifs

L'étude de la variation d'oméga a pour but de montrer l'influence que le rapport offre/qualité peut avoir lors de la sélection des fournisseurs. Nous observons également le comportement de l'initiateur car

celui-ci est directement concerné par ces changements de valeur vu que seule la qualité des fournisseurs compte pour lui. Le but de cette simulation est de montrer la flexibilité que le paramètre ω apporte à la médiation flexible. D'autant que la comparaison avec le processus de tirage aléatoire va montrer l'importance que la qualité ou l'offre peuvent avoir sur les comportements des pairs.

Nous présentons ici un ensemble de simulations divisées par le mode de facturation mis en place dans la médiation flexible. Ainsi, nous étudions le comportement des pairs lorsque nous sommes en compétition ou en réquisition. Pour chacun des contextes (compétition et réquisition), nous proposons trois exemples représentatifs dans lesquels les probabilités d'être sélectionné sont faibles (0.35), moyennes (0.5) et fortes (0.7).

4.2.2.2 Analyse du comportement des pairs dans le contexte d'une compétition

- Exemple 1 avec un ratio $\frac{n}{N}$ moyen

r_i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\vec{Q}$	7.36	28.66	193.20	54.72	71.78	57.14	188.81	141.39	123.51	87.74
$\vec{B}$	105.081	-91.68	-89.55	185.77	-34.40	148.82	147.14	124.65	-37.17	197.70
r_i	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$\vec{Q}$	114.80	193.44	187.95	153.05	162.86	192.80	34.61	56.70	89.82	23.53
$\vec{B}$	115.81	135.41	-44.36	119.58	149.50	106.37	-97.15	125.04	-22.38	-17.83

Le tableau précédent nous fournit les offres et qualités des fournisseurs. On constate que la simulation se déroule dans un contexte où il y a 12 fournisseurs ayant fait une offre positive. Le nombre de fournisseurs demandé par l'initiateur est fixé à 10, ce qui amène à une probabilité d'être sélectionné $\frac{n}{N}$ de 0.5. Cela signifie deux choses. Tout d'abord, dans le cadre de la médiation flexible, le médiateur utilise le mode de compétition car suffisamment de fournisseurs souhaitent traiter la requête. Ensuite, au niveau du tirage aléatoire, cela indique que les fournisseurs ont une chance sur deux d'être choisis.
Pour la médiation flexible, cinq tendances se dessinent dans le cadre de l'étude des utilités des fournisseurs.

1. comportement A
   Le fournisseur ayant ce comportement a fait une offre élevée pour la requête. Il est sélectionné quelle que soit la valeur de ω. On constate que plus ω augmente, plus l'utilité de ce pair augmente elle aussi. En effet, l'offre théorique entre ce fournisseur et le $n + 1^{ème}$ diminue car les offres interviennent dans le calcul de la sélection. Or, comme nous sommes en compétition, sa facture correspond à l'offre théorique relative au $n+1^{ème}$: le pair sélectionné paie moins.
2. comportement B
   Le comportement correspond à un pair sélectionné pour toute valeur de ω. Sa courbe d'utilité est décroissante. En effet, ce pair a une qualité supérieure à son offre. Sa qualité a de moins en moins d'importance à cause de l'augmentation d'oméga. Or, elle intervient dans le calcul de l'offre théorique, il est normal que son utilité diminue progressivement en fonction d'oméga vu que sa facture augmente.
3. comportement C
   Le fournisseur ayant ce comportement est sélectionné jusqu'à $\omega = 0.8$ et ne l'est plus en-

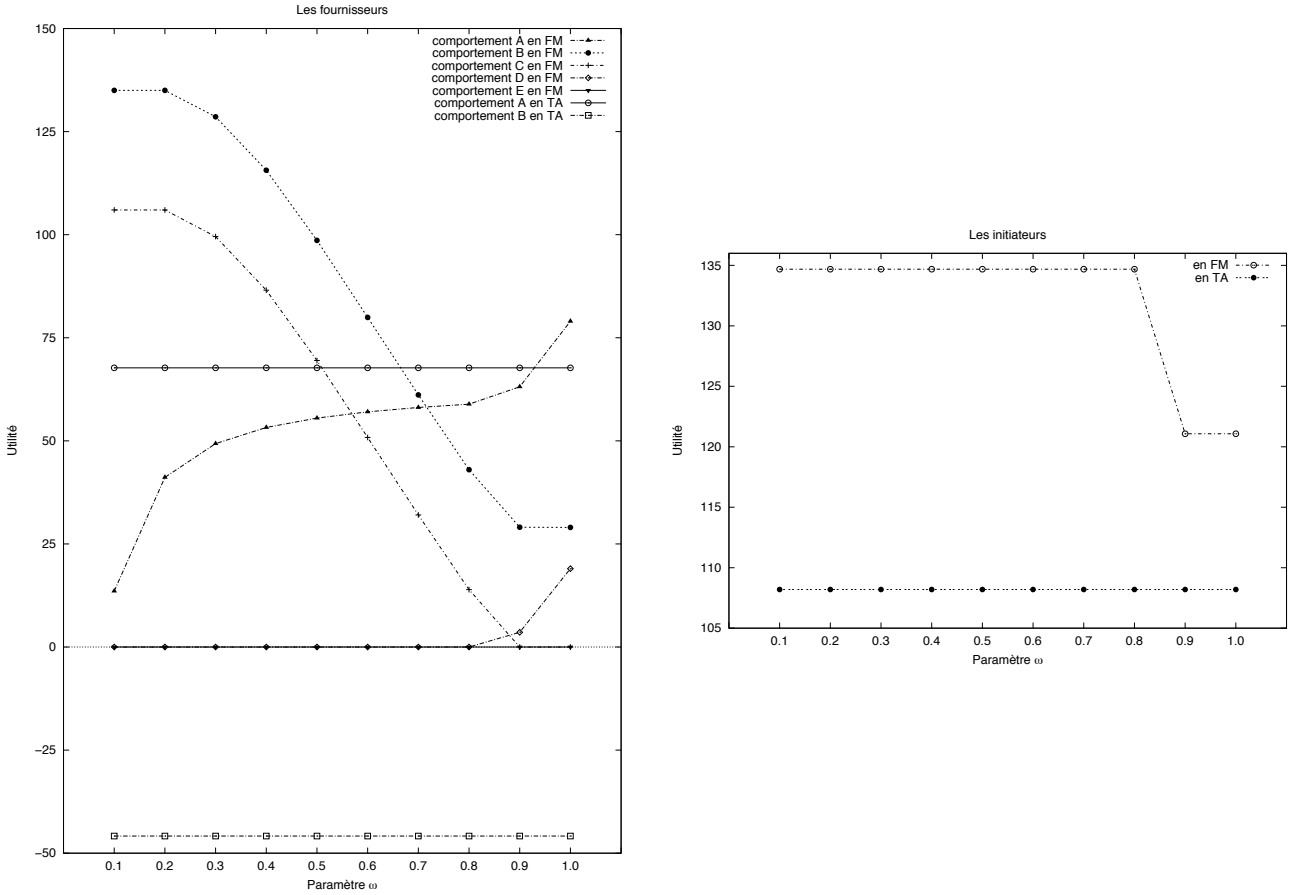


Figure 4.3 – Variation de l'utilité des pairs en fonction d'oméga en compétition pour un ratio $\frac{n}{N}$ moyen

suite. Or, la facture d'un fournisseur est inférieure à son offre en compétition (théorème 3.5) donc son utilité est nécessairement positive tant qu'il reste sélectionné. Lorsqu'il n'est plus sélectionné, sa facturation est nulle, entraînant une utilité nulle elle aussi : il est alors moins satisfait avec un oméga plus faible qu'il ne l'était auparavant.

4. comportement D
   À l'inverse du cas précédent, ce pair n'est pas sélectionné puis il le devient. Il est donc normal qu'il devienne plus satisfait puisqu'il voulait faire la requête.
5. comportement E
   Ce comportement correspond à deux types de fournisseurs, ceux qui désiraient faire la requête et qui n'ont pas été sélectionnés et ceux qui ne désiraient pas la faire et qui n'ont pas été sélectionnés non plus. Ainsi, leur facturation est nulle, entraînant une utilité nulle.

Les résultats du tirage aléatoire sont représentés par deux comportements différents, ceux voulant faire la requête et les autres : les deux sont concernés car la sélection utilise la probabilité $\frac{n}{N}$:

- comportement A
  Les fournisseurs désirant faire la requête ont une utilité positive. Le médiateur TA leur donne des requêtes, ils sont satisfaits car c'est ce qu'ils voulaient.

– comportement B
Les autres pairs ont une utilité négative. Ils ne voulaient pas travailler, le médiateur TA leur a tout de même fourni des requêtes : ils sont alors mécontents.

En comparant FM à TA, nous constatons que les pairs ayant fait une offre négative préfèrent tous la médiation flexible qui ne leur impose pas de faire la requête. Pour les pairs désirant faire la requête, le résultat est mitigé. Jusqu'à $\omega = 0.5$, ils préfèrent FM, après leur jugement change et TA devient privilégié. Lorsque les qualités ont plus d'importance dans le calcul de la sélection FM (oméga faible), l'offre théorique est assez élevée. Ensuite, quand ce sont les offres qui dominent, le pair classé $n + 1^{ème}$ a fait une offre plus élevée, entraînant une facturation plus forte.

Pour le tirage aléatoire, nous faisons une moyenne sur la totalité de la somme des qualités de tous les fournisseurs à laquelle nous appliquons la probabilité d'être sélectionné. On obtient alors une utilité pour l'initiateur qui a pour valeur 108. Dans le cas de la médiation flexible, on constate que l'utilité de l'initiateur reste constante jusqu'à $\omega = 0.8$, c'est-à-dire à l'échange des fournisseurs ayant les comportements C et D. En effet, la médiation favorise tout d'abord les qualités mais lorsqu'oméga devient trop élevé, les offres prennent une plus grande importance. De plus, il est normal que l'initiateur soit plus satisfait par les résultats de la médiation flexible que par ceux du tirage aléatoire, ce dernier ne tenant pas compte de la qualité lors de la sélection des fournisseurs.

- Exemple 2 avec un ratio $\frac{n}{N}$ fort

r_i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\vec{Q}$	147.97	12.63	193.10	112.22	61.85	199.06	55.21	81.88	6.69	191.08
$\vec{B}$	-45.74	-13.07	189.46	-85.65	160.76	127.91	175.74	159.86	130.77	138.75
r_i	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$\vec{Q}$	101.93	41.57	32.43	64.09	30.01	163.22	145.40	110.45	189.89	182.61
$\vec{B}$	105.83	176.99	-65.29	166.93	7.89	144.87	154.62	193.57	128.34	194.82

Le tableau précédent nous fournit les offres et qualités des fournisseurs. On constate qu'il y a 16 fournisseurs ayant fait une offre positive et 14 de demandés par l'initiateur. Cela signifie que les fournisseurs ont de grandes chances ($\frac{n}{N} = 0.7$) d'être sélectionnés vu le nombre de pairs requis. Dans la médiation flexible, quatre comportements ressortent des simulations réalisées.

1. comportement A
Tant que la qualité a plus d'importance que les offres dans le calcul des factures ($\omega < 0.5$), nous constatons une stabilité dans l'utilité de ce fournisseur. Ensuite, il y a une chute de son utilité. Ce cas de figure correspond au fournisseur qui désire traiter la requête et qui est sélectionné pour n'importe quelle valeur de ω. Pour un oméga faible, les fournisseurs sont classés selon leur qualité principalement. Par la suite, ceux ayant fait les meilleures offres ressortent du lot ; l'offre théorique du $n + 1^{ème}$ remonte donc. Alors, la facture de chacun augmente d'où la baisse de leur utilité.

2. comportement B
C'est le comportement de fournisseurs qui ne sont jamais sélectionnés : leur utilité est nulle.

3. comportement C et D
Ces deux comportements sont directement liés. En effet, ils correspondent à l'échange de sélection de deux pairs. Un pair ayant le comportement D cède sa place à un pair ayant le

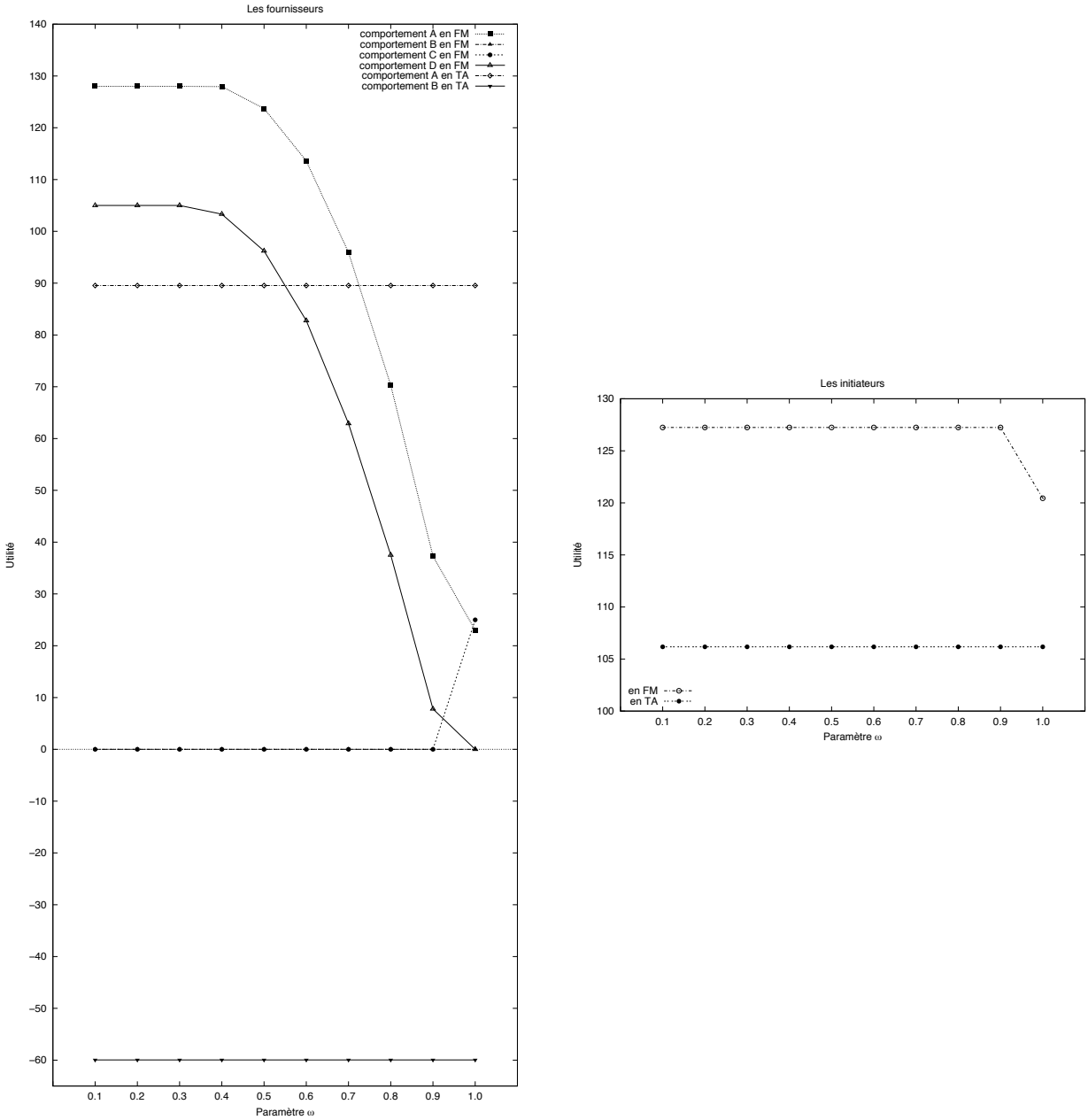


Figure 4.4 – Variation de l'utilité des pairs en fonction d'oméga en compétition pour un ratio $\frac{n}{N}$ fort

comportement C (par exemple, les pairs 11 et 9). Cet échange est dû au fait que la qualité est moins prise en compte. En effet, si l'on regarde les données des pairs 9 et 11, on constate que le pair 9 a une qualité très faible (6.69) avec une offre correcte (130.77) alors que le pair 11 a une qualité et une offre dans la moyenne (aux environs de 100). Tant qu'oméga prend en compte la qualité, le pair 9 a aucune chance d'être sélectionné vu la valeur de la sienne. Quand $\omega = 1.0$, les qualités ne sont plus prises en compte, l'offre du pair 9 est relativement bonne : il est sélectionné.

Concernant le tirage aléatoire, deux comportements se distinguent tout comme dans l'exemple précédent. En comparant les résultats du tirage aléatoire à ceux de la médiation flexible, nous pouvons constater que :

- Les fournisseurs ne désirant pas faire la requête ne sont pas du tout sélectionnés en FM alors qu'ils peuvent l'être en TA. Ces fournisseurs préfèrent alors clairement la médiation flexible. Quatre pairs sont concernés par ce constat.
- Les fournisseurs désirant faire la requête et qui n'ont pas été sélectionnés en FM ont une utilité nulle tandis que le TA peut les sélectionner, leur apportant une utilité positive. Cependant, cela ne correspond qu'à deux pairs sur l'ensemble des 20. En effet, l'initiateur demande 14 pairs tandis que 16 ont fait une offre positive.
- Les fournisseurs souhaitant faire la requête et qui sont toujours sélectionnés en FM ont une utilité supérieure à celle de TA quand $\omega \leq 0.5$ et inférieure sinon. On voit clairement sur cet exemple l'importance qu'oméga a dans la détermination de la sélection et par conséquent, l'importance que la qualité peut avoir par rapport à un TA ne retenant pas ce critère de sélection.

L'initiateur a une utilité supérieure en FM par rapport à TA. Ce processus ne prend pas en compte la qualité, contrairement à FM : il est normal que l'initiateur soit plus satisfait en FM. L'utilité avec cette dernière évolue une seule fois, au moment du changement de fournisseurs que nous avons déjà pu constater (comportements C et D). En effet, quand $\omega = 1$, les qualités n'interviennent plus dans le calcul de la sélection, or le nouveau sélectionné a une qualité très faible d'où la diminution de l'utilité de l'initiateur. Il reste tout de même plus satisfait en FM qu'en TA.

- Exemple 3 avec un ratio $\frac{n}{N}$ faible

r_i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\vec{Q}$	92.88	177.40	47.03	71.79	63.21	148.46	131.46	117.01	102.09	93.17
$\vec{B}$	195.50	138.68	-39.89	135.07	-59.74	-25.99	-99.31	164.86	150.80	127.29
r_i	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$\vec{Q}$	7.50	69.83	110.38	28.90	146.88	116.86	45.00	20.26	23.37	49.43
$\vec{B}$	159.63	-63.49	-91.82	121.51	-78.93	-77.85	111.22	123.18	-52.27	-70.07

Le tableau précédent nous fournit les offres et qualités des fournisseurs. On constate qu'il y a 10 fournisseurs souhaitant faire la requête et que l'initiateur en demande 7. Ainsi, la probabilité $\frac{n}{N}$ d'être sélectionné en TA est cette fois assez faible, à hauteur de 0.35.

On constate une similitude dans les graphiques obtenus par rapport à l'exemple 2. On peut en déduire que le paramètre $\frac{n}{N}$ n'influence que très peu le résultat obtenu. Deux différences sont tout de même à noter :

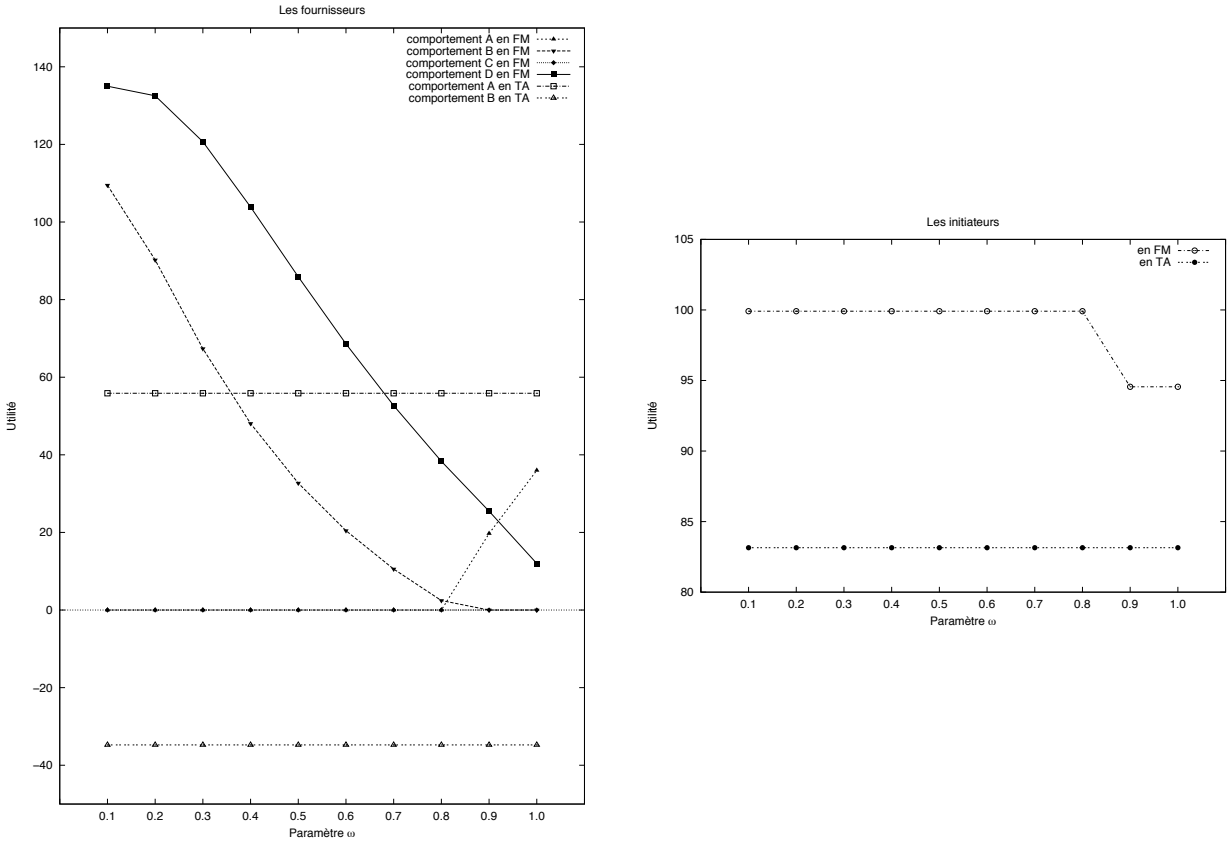


Figure 4.5 – Variation de l'utilité des pairs en fonction d'oméga en compétition pour un ratio $\frac{n}{N}$ faible

- Lorsque le ratio $\frac{n}{N}$ est faible, la valeur absolue de l'utilité retirée par les fournisseurs en TA est plus faible que celle obtenue dans l'exemple 2. Ce qui semble normal au vu de la définition de l'espérance de l'utilité des fournisseurs.
- Les courbes d'utilité en FM diminuent plus rapidement que celles de l'exemple 2. Vu qu'un petit nombre de fournisseurs est sélectionné, les changements dans la sélection dûs à l'évolution de la valeur d'oméga apparaissent plus rapidement.

4.2.2.3 Analyse du comportement des pairs dans le contexte d'une réquisition

Nous arrivons maintenant à l'étude du comportement des pairs lorsque la médiation flexible utilise la réquisition, à savoir que $n > N^+$

- Exemple 1 avec un ratio $\frac{n}{N}$ moyen

r_i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\vec{Q}$	164.14	114.84	173.41	81.03	113.00	155.76	197.04	103.16	23.51	100.50
$\vec{B}$	144.83	-55.23	-41.09	-48.60	-74.25	187.44	155.78	-6.91	-52.89	-56.72
r_i	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$\vec{Q}$	156.58	163.51	135.23	193.47	62.42	97.50	159.31	131.30	25.81	176.01
$\vec{B}$	-32.90	175.27	-37.67	146.55	-17.68	-76.82	-35.78	-42.60	135.07	119.86

On constate que seulement 7 fournisseurs ont fait une offre positive sur les 20 présents. Les fournisseurs ont une chance sur deux d'être sélectionnés par le tirage aléatoire. Dans le cas de la médiation flexible, cela indique que nous sommes dans le cas de la réquisition.

1. comportement A

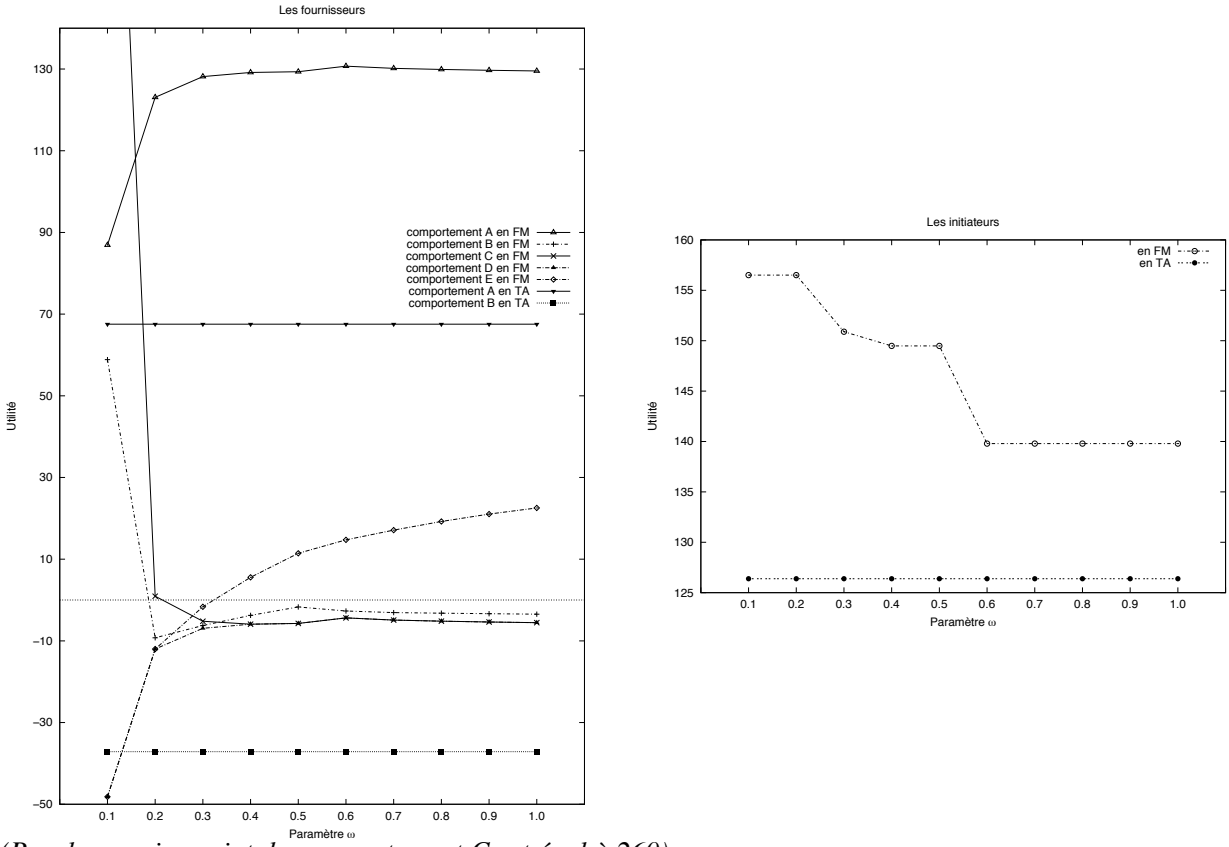
   Ce comportement correspond à celui des fournisseurs désirant réaliser la requête. Ils sont par conséquent sélectionnés pour toutes les valeurs d'oméga dans la médiation flexible. On constate que lorsque la qualité a une part importante dans le calcul de l'allocation (oméga faible), leur utilité est un peu plus faible que lorsque les offres sont plus prises en compte. En effet, ces fournisseurs sont sélectionnés car ils veulent faire la requête mais cela n'indique pas que leur qualité est élevée.

2. comportement B et C

   Les courbes d'utilité de ces deux comportements sont similaires, seules leurs valeurs lorsqu'oméga est inférieur à 0.3 diffèrent, celles du comportement C étant plus élevées. Les fournisseurs concernés (3 et 11) ont une qualité élevée (aux environs de 160) mais ne désirent pas faire la requête. Le comportement C correspond à celui du fournisseur 3 qui est sélectionné quand $\omega \leq 0.3$. Le comportement B correspond au fournisseur 11 qui est sélectionné quelle que soit la valeur d'oméga. Pour $\omega > 0.3$, leur utilité est proche de -5 pour le pair 3 et de -3 pour le pair 11. En effet, le fournisseur au comportement B participe à la réquisition des autres fournisseurs tandis que le fournisseur 11 reçoit une compensation qui pour un oméga assez élevé, ne compense pas complètement sa perte.

3. comportement D

   Les fournisseurs concernés sont les fournisseurs qui ne sont jamais retenus par le médiateur. Ils ne font que subir le soutien financier apporté aux réquisitionnés. Lorsque $\omega = 0.1$, ils ne sont pas satisfaits à hauteur de -50 environ car les qualités ont une grande importance



(Rq : le premier point du comportement C est égal à 260)

Figure 4.6 – Variation de l'utilité des pairs en fonction d'oméga en réquisition pour un ratio $\frac{n}{N}$ moyen

dans la sélection contrairement aux offres. Le fournisseur $n + 2^{ème}$ servant de base pour la facturation doit avoir fait une offre relativement faible, entraînant que l'offre théorique pour se ramener à lui est élevée. Or, certains ont un niveau élevé vu que la prise en compte de la qualité est prépondérante. La facturation de soutien aux réquisitionnés est alors élevée pour tous.

4. comportement E

   Les pairs ayant ce comportement ne désirent pas faire la requête mais ont fait une offre pas trop faible (fournisseurs 8 et 15). Quand oméga est petit, ils ne sont pas sélectionnés car leur qualité ne leur permet pas de l'être. Mais, quand oméga augmente, ils sont réquisitionnés car leur offre proche de 0 tout en étant négative les fait devenir les meilleurs parmi les fournisseurs ne désirant pas faire la requête. On constate que leur utilité devient positive grâce à la compensation offerte par le médiateur pour pallier le fait qu'ils ne voulaient pas la réaliser.

On constate que comme sur les exemples précédents, en TA, les fournisseurs désirant faire la requête (comportement A) se distinguent de ceux qui ne voulaient pas la faire (comportement B). Ces derniers au nombre de 13 ont une utilité plus faible que celle des cas énoncés précédemment dans le cadre de la médiation flexible (hormis les comportements D et E quand $\omega = 0.1$). Il est

normal que les pairs voulant faire la requête aient une utilité positive. On constate tout de même que tous les fournisseurs de FM qui souhaitaient la faire ont une utilité supérieure, ceci est dû à la probabilité qu'ont les pairs de TA à être sélectionnés.

Entre $\omega = 0.1$ et $\omega = 1.0$, il y a eu quatre modifications dans les sélections obtenues. L'utilité de l'initiateur dans la médiation flexible diminue en conséquence par pallier elle aussi. Ceci est dû au fait que l'importance de la qualité dans la sélection diminue. L'utilité de FM est tout de même meilleure que celle en TA où la qualité importe peu.

- Exemple 2 avec un ratio $\frac{n}{N}$ fort

r_i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\vec{Q}$	104.81	102.72	88.53	168.92	149.86	70.98	142.42	74.36	155.16	96.62
$\vec{B}$	-44.90	100.31	-75.33	118.12	-33.73	-1.40	153.60	151.68	193.33	128.38
r_i	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$\vec{Q}$	80.45	173.13	124.32	198.82	157.01	132.95	160.50	43.89	85.92	34.54
$\vec{B}$	-90.76	-94.28	195.96	193.30	-13.43	110.41	132.46	-49.18	135.57	154.43

Le tableau précédent nous indique qu'une majorité de fournisseurs (12) ont fait une offre positive mais l'initiateur demande plus de fournisseurs (14). La probabilité d'être sélectionné $\frac{n}{N}$ est égale à 0.7. Il y a donc réquisition pour la médiation flexible.
On peut voir sur la figure 4.7 que trois comportements se dessinent dans le cadre de la médiation flexible.

1. comportement A
   Les fournisseurs concernés sont ceux qui n'ont jamais sélectionnés. En effet, ils ne font que payer la compensation financière donnée pour la réquisition des deux pairs concernés. Leur utilité correspond à leur facture et est négative. Mais comme les coûts de la réquisition sont partagés entre tous, on constate qu'elle n'est pas beaucoup négative (à hauteur de -5).
   De plus, lorsque $\omega = 0.1$, on constate une utilité très basse pour tous les pairs ayant le comportement A (constatation similaire pour les autres cas). Ceci est dû au fait que le médiateur prend quasiment en compte que la qualité dans le calcul de la sélection. Les pairs réquisitionnés sont les pairs 12 et 15 (15 le restera par la suite, comme on le verra dans le comportement C). La qualité du pair 12 est forte (173.13), ce qui fait qu'il est sélectionné alors qu'il ne le voulait pas (-94.28). Le raisonnement d'une qualité forte et d'une offre négative est mené au niveau du pair classé $n + 2^{ème}$, celui-ci entraînant une facture très élevée pour tous d'un montant de 282.08. D'où l'utilité très basse de chacun lorsque $\omega = 0.1$. Mais celle-ci remonte par la suite, comme on peut le constater sur la figure 4.7.
2. comportement B
   Les fournisseurs qui sont toujours sélectionnés ont une utilité très élevée. En effet, comme on a pu le voir avec ceux ayant le comportement A, la facture de participation aux réquisitions est faible. Cela permet à ces pairs d'être extrêmement satisfaits de la médiation flexible.
3. comportement C
   Ce comportement est un peu particulier car il correspond à un seul pair (15). Ce pair ne désire pas faire la requête mais le médiateur le réquisitionne pour toute valeur d'oméga. Ce réquisitionné combine à la fois une qualité relativement forte (157.01) et une offre négative mais assez faible en valeur absolue (-13.43). Sa qualité assez forte lui permet d'être

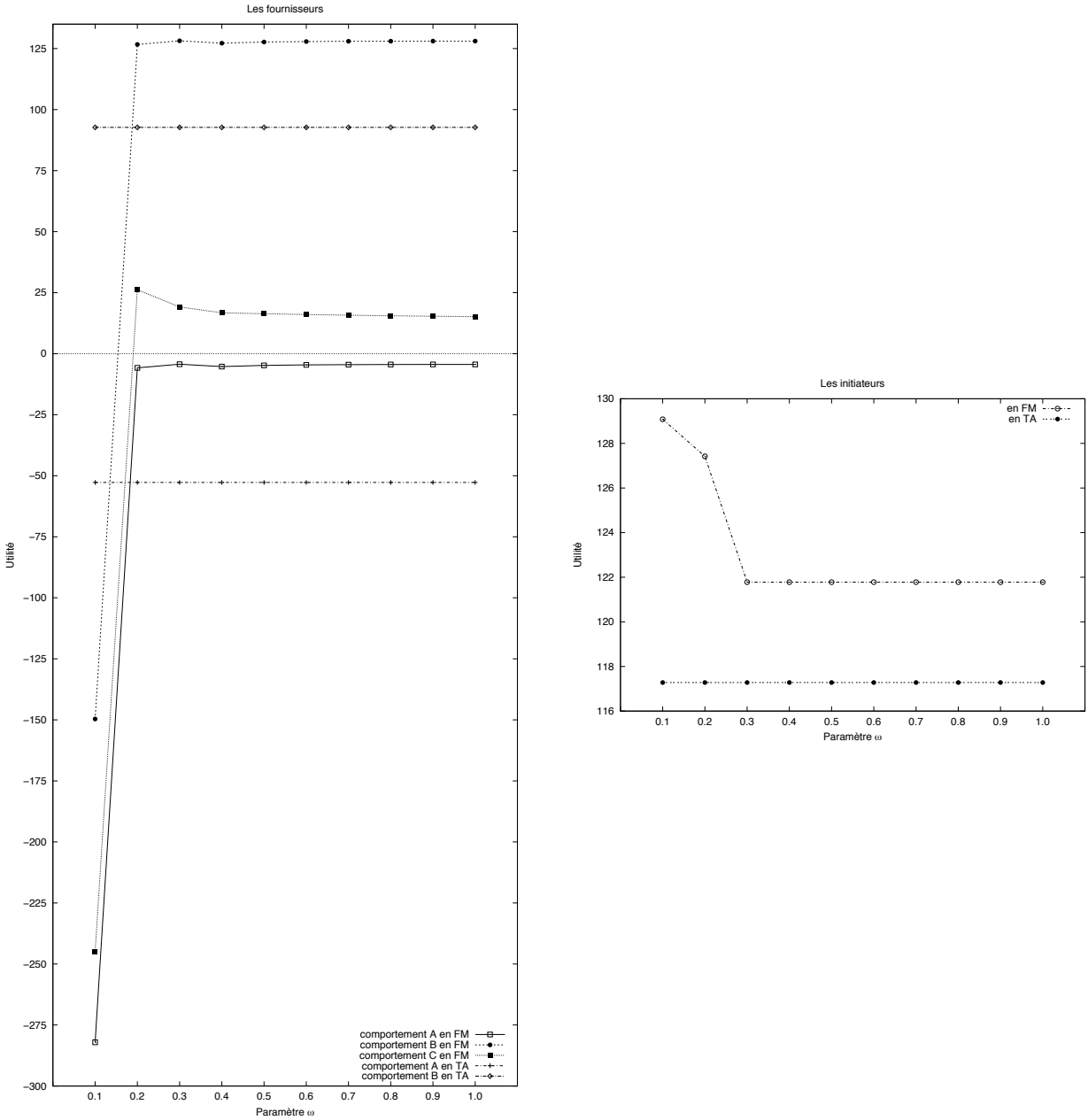


Figure 4.7 – Variation de l'utilité des pairs en fonction d'oméga en réquisition pour un ratio $\frac{n}{N}$ fort

sélectionné pour des valeurs assez basses d'oméga tandis que son offre lui permet de l'être lorsqu'oméga augmente.

Dans le cadre du tirage aléatoire, on constate toujours les deux comportements opposés, d'un côté les pairs désirant traiter la requête (utilité aux environs de 90) et d'un autre côté, les autres qui ont une utilité négative à hauteur de -50. Ces derniers ont une utilité plus faible que celle de n'importe quel pair de la médiation flexible (hormis le cas où oméga a pour valeur 0.1). De même, les pairs de TA désirant travailler ont une utilité inférieure à celle obtenue par les pairs dans le même cas de FM.

Lorsqu'oméga a pour valeur 0.1, l'initiateur de la médiation flexible est très satisfait des résultats qui lui sont fournis avec une utilité de 129.08. Lorsqu'oméga augmente, celle-ci diminue suite à deux changements de pairs ayant une qualité plus faible dans la sélection avant de se stabiliser à 121.78. Elle reste tout de même supérieure à celle obtenue par l'initiateur en TA qui a pour valeur 117.28.

- Exemple 3 avec un ratio $\frac{n}{N}$ faible

r_i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\vec{Q}$	31.27	9.14	7.96	103.39	167.19	136.32	42.94	60.61	155.65	62.70
$\vec{B}$	-7.45	-2.52	-86.95	-20.57	-49.25	-50.52	-1.79	-11.60	153.26	150.35
r_i	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$\vec{Q}$	150.63	94.51	9.80	70.05	3.71	31.08	194.06	186.57	189.52	172.76
$\vec{B}$	-46.68	-32.05	153.32	177.84	-6.69	-28.70	-25.93	-33.24	-92.69	160.71

Le tableau précédent nous indique que très peu de fournisseurs (5) souhaitent faire la requête alors que l'initiateur en demande 7. La probabilité d'être sélectionné est égale à 0.35.
Quatre comportements se distinguent pour la médiation flexible :

1. comportement A
   Ce comportement correspond aux fournisseurs désirant traiter la requête et qui sont alors nécessairement sélectionnés. Le soutien financier aux réquisitionnés étant assez faible (de 16.06 pour $\omega = 0.1$ à 0.7 pour $\omega = 1$), ces pairs même s'ils doivent payer un petit peu sont globalement très satisfaits : leur utilité se situe aux alentours de 150.
2. comportement B
   Les pairs concernés sont les pairs jamais sélectionnés. Sur la figure 4.8, la courbe correspondante est "cachée" derrière la courbe du comportement C pour $\omega \leq 0.6$ et derrière la courbe du comportement D pour $\omega \geq 0.6$. Pour un oméga faible, le $n + 2^{ème}$ a une offre négative assez forte mais obtient ce rang grâce à sa qualité. Cela implique que la facture est plus élevée (16.06) que lorsqu'oméga est plus élevé (0.7) où là, le $n + 2^{ème}$ est classé par rapport à son offre. Leur utilité de ce comportement est négative mais très proche de 0 (-0.7).
3. comportement C
   Les pairs ayant ce comportement ne souhaitent pas traiter la requête : ils sont tout d'abord non sélectionnés puis sélectionnés. Ce sont les pairs 2 et 7. La courbe représentée sur la figure 4.8 correspond au cas du pair 2, le pair 7 a le même comportement mais pour $\omega \leq 0.3$. Pour le pair 2, quand $\omega \leq 0.5$, il a le comportement d'un pair non sélectionné comme on a

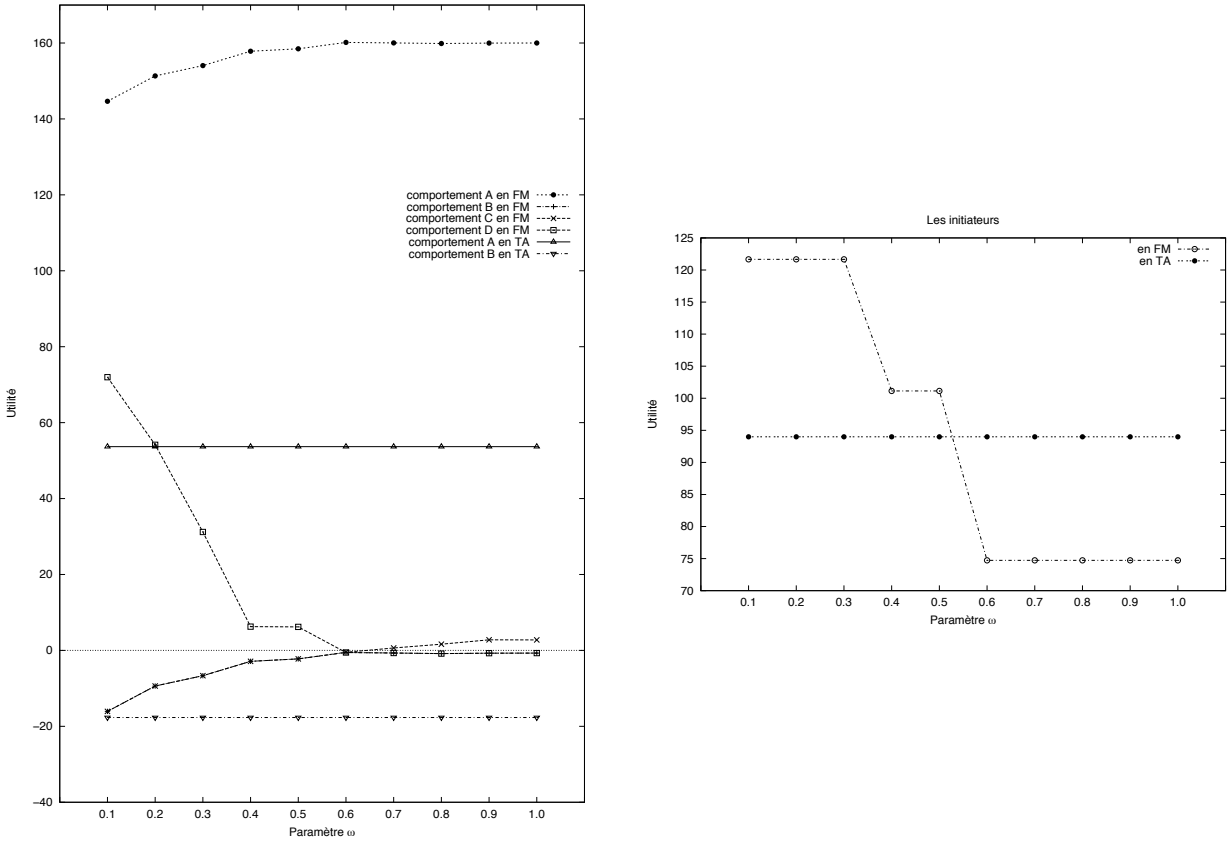


Figure 4.8 – Variation de l'utilité des pairs en fonction d'oméga en réquisition pour un ratio $\frac{n}{N}$ faible

pu le voir dans le cas B. Il n'est pas retenu car jusque là, la qualité était prédominante dans le calcul de l'allocation et il a une qualité très faible (9.14). Quand oméga devient supérieur à 0.5, son offre prend plus d'importance dans le calcul et vu qu'il a fait une offre négative mais avec une valeur absolue faible, il devient sélectionné.

4. comportement D
   Ce sont également des pairs ne souhaitant pas réaliser la requête mais qui cette fois sont tout d'abord sélectionnés puis non sélectionnés. Ce sont les pairs 17 et 18 qui ont échangés leur place dans la sélection avec les pairs ayant le comportement C (17 avec le pair 2 et 18 avec le pair 7). Les pairs 17 et 18 ont une qualité élevée, ce qui leur doit d'être sélectionnés dans un premier temps quand oméga est faible. Ensuite, leur offre étant plus faible que celle réalisée par les pairs ayant le comportement C, ils ne sont plus sélectionnés.

En TA, les pairs désirant traiter la requête ont une utilité positive à hauteur de 55, c'est-à-dire beaucoup moins que celle obtenue par les pairs dans la même situation en FM. Ceci est dû au fait qu'ils soient peu nombreux et que la probabilité d'être sélectionné est relativement faible. Concernant les pairs ne voulant pas faire la requête, leur utilité se situe aux alentours de -20, moins également que celle obtenue par les pairs non désireux de faire la requête en FM.

C'est le seul exemple où l'initiateur en FM a une utilité inférieure à celle obtenue par l'initiateur en TA. Cependant, cette remarque n'est pas valable pour toutes les valeurs d'oméga. En effet, nous voyons l'utilité de FM diminuer par pallier mais tant que $\omega \leq 0.5$, la FM fournit des réponses de meilleure qualité qu'en TA. Nous pouvons en déduire que dans ce cas, les offres ont plus d'influence que la qualité : des fournisseurs ayant de fortes qualités ont fait des offres minimes à côté.

4.2.2.4 Conclusion

Tout d'abord, concernant les initiateurs, on constate que la médiation flexible fournit toujours, mis à part le dernier exemple en réquisition, une meilleure satisfaction à ce type de pairs que celle apportée par le tirage aléatoire. Cette conclusion est conforme à nos attentes initiales, sachant que le processus de tirage aléatoire ne prend pas en compte la qualité dans sa manière de sélectionner les fournisseurs.

Pour les fournisseurs, ceux qui ne désiraient pas obtenir la requête sont toujours plus satisfaits avec la médiation flexible, que ce soit en compétition ou en réquisition. Cela prouve en partie que le fait de partager les coûts de réquisition sur l'ensemble des pairs ne les affecte finalement pas énormément vu que dans le tirage aléatoire, il n'y a pas de facturation. Nous pouvons séparer en deux parties la conclusion pour les pairs désirant traiter la requête. D'une part, en compétition, on constate que lorsqu'oméga est inférieur à 0.5, ce sont les pairs de FM les plus satisfaits mais pour oméga supérieur à 0.5, le TA permet une meilleure satisfaction. En effet, comme la FM prend en compte la qualité et l'offre dans le calcul de sa sélection, les pairs de la FM ayant fait les meilleures offres peuvent perdre en utilité car ils ont une qualité plus faible. D'autre part, en réquisition, les fournisseurs de la FM sont toujours plus satisfaits que ceux du TA, sauf quelques fois lorsqu'oméga a pour valeur 0.1. On peut là aussi conclure que la réquisition défavorise peu les pairs vis-à-vis d'un processus ne l'employant pas.

Sur les différents exemples que nous venons de montrer, la flexibilité apportée par le paramètre ω est intéressante au niveau des deux types de pairs. En effet, même si l'initiateur a une utilité supérieure à celle qu'il aurait en tirage aléatoire, lorsqu'oméga augmente, nous constatons que son utilité en pâtit car le médiateur favorise plus les fournisseurs. De même, pour un oméga faible, les intérêts des fournisseurs sont moins bien représentés. C'est alors au médiateur de trouver un juste milieu entre les intérêts des uns et des autres et de s'adapter au contexte environnant.

4.2.3 Analyse des variations de l'utilité en fonction du nombre de fournisseurs à sélectionner

4.2.3.1 Objectifs

Le nombre de fournisseurs sélectionnés peut faire varier le comportement d'un processus du tout au tout. C'est encore plus le cas pour la médiation flexible dans laquelle, ce paramètre peut affecter son mode de facturation. Ainsi, le but de ces simulations est d'observer la sensibilité que la médiation flexible a par rapport à la variation de ce paramètre.

Nous faisons évoluer le nombre de pairs ayant fait une offre positive et qui donc souhaitent faire la requête. Ainsi, nous présentons trois exemples dans lesquels le ratio $\frac{N^+}{N}$ prend les valeurs $0.7, 0.5$ et 0.2. Les simulations effectuées ont toutes été exécutées avec $\omega = 0.6$, cela signifie que les offres auront un léger avantage sur la qualité dans le résultat de la sélection.

4.2.3.2 Analyse du comportement des pairs

- exemple 1 avec un ratio $\frac{N^+}{N}$ fort

r_i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\vec{Q}$	159.41	8.64	42.16	196.33	35.99	188.99	99.35	143.99	67.05	151.01
$\vec{B}$	148.73	178.83	-16.18	151.40	-4.98	162.41	-64.20	166.45	-1.22	-85.24
r_i	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$\vec{Q}$	8.64	137.68	122.91	98.95	44.67	111.36	105.12	25.47	45.11	154.07
$\vec{B}$	136.98	144.38	112.73	139.43	149.58	160.42	175.04	145.38	-16.04	174.16

Dans cet exemple, 14 fournisseurs ont fait une offre positive ($\frac{N^+}{N} = 0.7$). Ainsi, dans la médiation flexible, le mode de compétition sera appliqué jusqu'à $n = 14$ avant de basculer en mode réquisition.
Trois comportement se distinguent dans la médiation flexible, comme on peut le constater sur la figure 4.9.

1. comportement A
   Il correspond aux fournisseurs ayant fait une offre positive. Ainsi, ils sont sélectionnés lorsque le mode compétition est mis en place. Sur la figure 4.9, nous avons représenté la courbe du pair sélectionné lorsque $n = 8$. Le comportement des courbes des autres pairs est similaire, l'utilité commençant à augmenter à partir du moment où ils sont retenus par le médiateur. Le maximum de leur utilité est atteint pour $n = 14$. En effet, à ce moment, le nombre de pairs désirant réaliser la requête est égal au nombre de fournisseurs demandés par l'initiateur : le médiateur applique alors une facturation nulle pour tous. À partir du moment où le mode réquisition est mis en place, leurs utilités commencent à diminuer car les pairs participent maintenant au soutien financier des pairs réquisitionnés. Or, plus n augmente, plus le nombre de réquisitionnés augmente lui aussi. Enfin, lorsque $n > N$, l'utilité de tous devient constante (remarque valable aussi pour les cas suivants). En effet, la facturation prend le minimum entre n et N car le médiateur ne peut pas fournir plus de N pairs à l'initiateur.
2. comportement B
   Ce comportement s'applique aux fournisseurs ne désirant pas faire la requête mais qui ont fait une offre négative assez proche de 0. Ce sont les pairs 3, 5, 9 et 19. Tant que le mode compétition est appliqué, ils n'ont aucune facture à payer et donc leur utilité est nulle. Ce sont les premiers à se faire réquisitionner par le médiateur, ils reçoivent alors un dédommagement suffisant pour avoir une utilité positive dès leur sélection.
3. comportement C
   Les deux derniers pairs réquisitionnés (7 et 10) subissent le soutien financier apporté aux réquisitionnés ayant le comportement B tout en n'étant pas sélectionnés. Ainsi, leur utilité est négative.

Concernant le tirage aléatoire, l'utilité d'un pair est soit croissante s'il désirait faire la requête, soit décroissante dans le cas contraire. Ceci est dû à la probabilité d'être sélectionné qui augmente en même temps que n augmente. L'utilité obtenue en FM par les pairs désirant traiter la requête devient rapidement supérieure à l'utilité obtenue en TA dès lors qu'ils sont sélectionnés. Même en passant en mode réquisition, l'utilité en FM reste dominante par rapport à celle de TA. Pour les

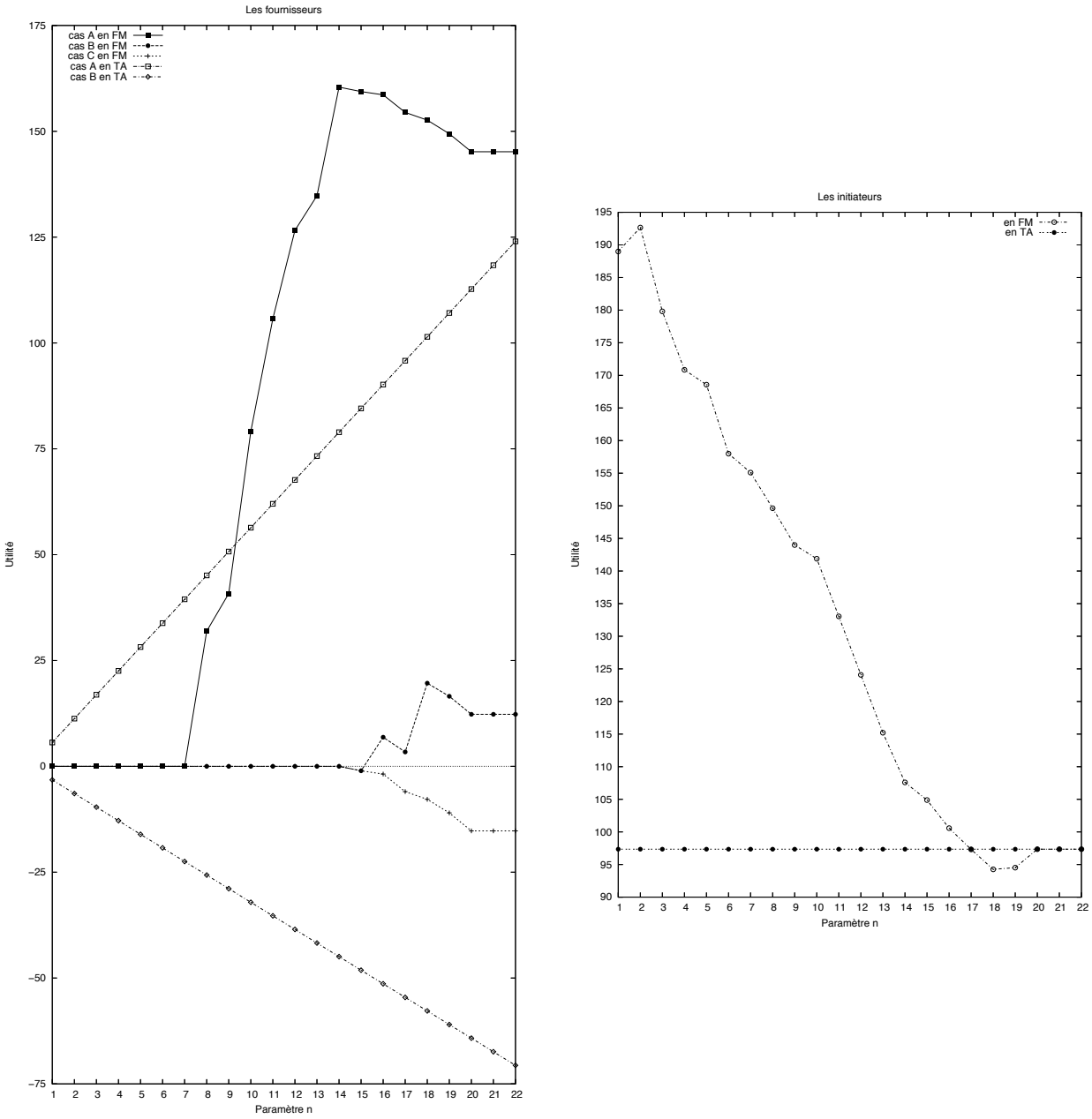


Figure 4.9 – Variation de l'utilité des pairs en fonction de n pour un ratio $\frac{N^+}{N}$ fort

pairs de TA ne souhaitant pas faire la requête, ils sont moins satisfaits qu'en FM, quelle que soit la valeur de n, atteignant une utilité négative assez forte.

Les valeurs de l'initiateur en TA ont été obtenues en faisant la moyenne des qualités sur l'ensemble des fournisseurs, d'où la linéarité de la courbe. La courbe de FM est décroissante au fur et à mesure que n augmente. En effet, pour un n petit, le médiateur peut faire le choix entre les fournisseurs au niveau de leur offre et au niveau de leur qualité. Or, lorsqu'il doit sélectionner les pairs désirant traiter la requête, à un moment donné, il est forcé d'en choisir qui ont des qualités faibles vu qu'ils désirent travailler. L'utilité de l'initiateur en FM reste tout de même supérieure à celle en TA jusqu'à $n = 17$. En effet, à ce moment, le médiateur est obligé de retenir des pairs ayant une qualité relativement faible (pairs $3, 5, 9$) faisant baisser fortement l'utilité de l'initiateur. Une fois que tous les pairs sont sélectionnés, l'utilité des deux processus est bien égale.

- exemple 2 avec un ratio $\frac{N^+}{N}$ moyen

r_i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\vec{Q}$	196.14	189.13	195.81	69.38	180.94	101.03	183.33	21.16	172.74	65.15
$\vec{B}$	-88.17	-17.58	185.25	150.28	-21.34	-74.08	-47.84	-14.39	170.56	-41.79
r_i	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$\vec{Q}$	8.86	137.99	159.31	22.71	45.70	50.80	52.89	7.33	135.37	45.85
$\vec{B}$	-47.47	172.20	195.87	188.93	176.43	-55.54	181.08	100.94	105.03	-87.58

Ici, il y a autant de fournisseurs désirant faire la requête que de pairs ne le souhaitant pas. Le ratio $\frac{N^+}{N}$ est fixé à 0.5.
On peut voir sur la figure 4.10 que quatre comportements se distinguent en médiation flexible.

1. comportement A
   On constate un comportement similaire au comportement A de l'exemple précédent
2. comportement B
   Il correspond aux premiers réquisitionnés. On constate que lors de leur non sélection en mode réquisition, ils ont une utilité négative qui, une fois sélectionnés, se transforme en utilité positive. Étant les premiers réquisitionnés, leur utilité a le temps de remonter contrairement à ceux que l'on étudiera dans le comportement C. En effet, le niveau du $n + 2^{ème}$ diminue au fur et à mesure que n augmente. Le pic observé lorsque $n = 19$, est dû au fait que le calcul de la facture se fait entre $min(n + 2, N)$ et ici, c'est N le plus petit, ce qui revient à dire que la facturation se fait par rapport au $n + 1^{ème}$.
3. comportement C
   Les pairs concernés sont ceux qui ont le niveau le plus faible, ce qui implique qu'ils soient réquisitionnés en dernier. Ainsi, leur utilité n'a pas eu le temps de remonter comme cela s'est produit pour les pairs du cas B.

On peut tirer les mêmes conclusions sur le tirage aléatoire que celles de l'exemple 1. Une différence est tout de même à noter. L'utilité des pairs désirant faire la requête en FM est inférieure à celle des pairs voulant la traiter en TA lorsque n devient grand. En effet, quand n est supérieur à 16, la participation à la réquisition des autres devient trop lourde à supporter et fait chuter leur

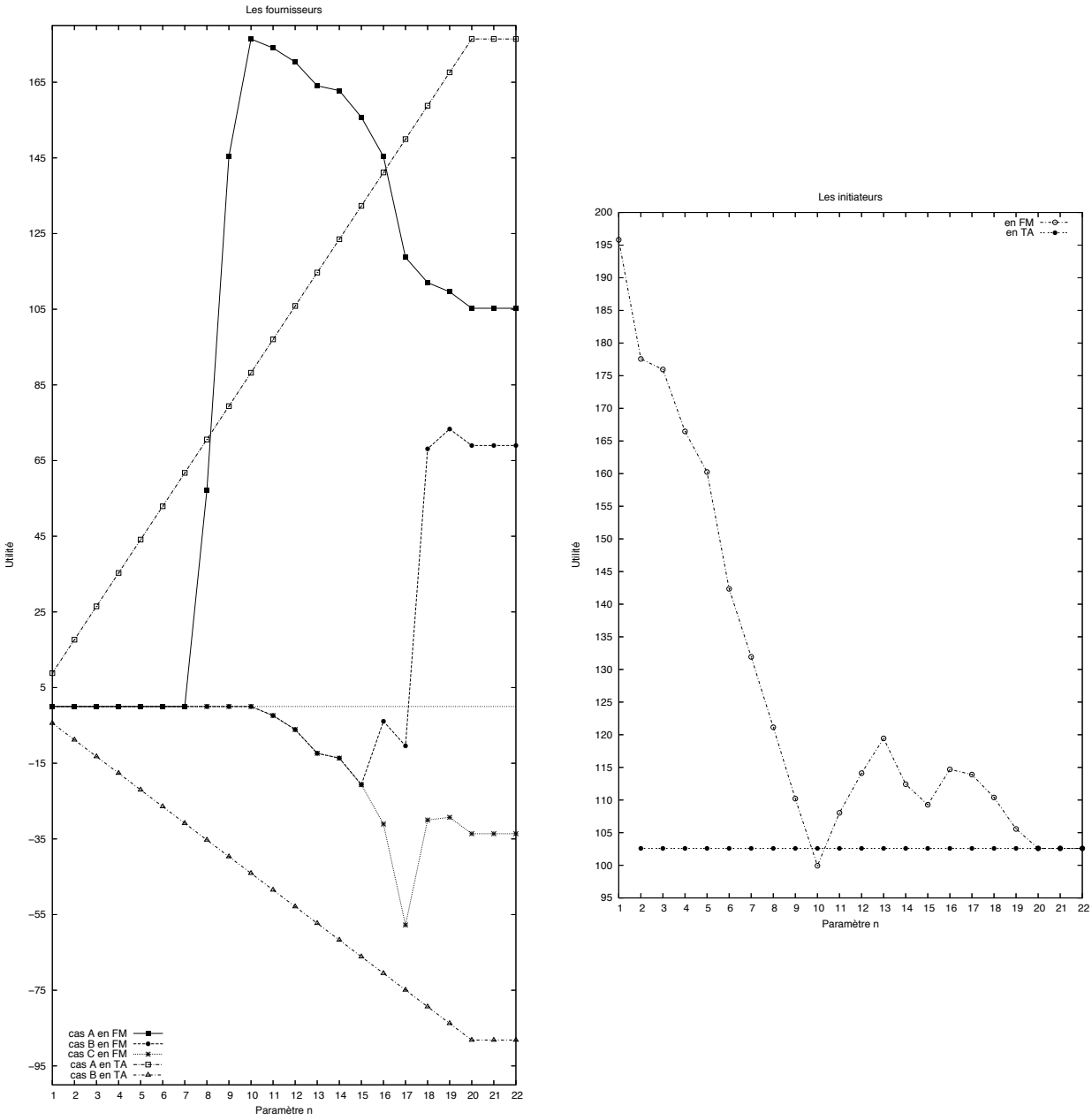


Figure 4.10 – Variation de l'utilité des pairs en fonction de n pour un ratio $\frac{N^+}{N}$ moyen

utilité qui reste tout de même positive assez largement.

Pour les initiateurs, tant que le médiateur FM peut choisir les fournisseurs désirant traiter la requête, l'utilité de l'initiateur FM reste supérieure à celle de l'initiateur TA. Quand $n = 10$, le médiateur est obligé de choisir le dernier pair souhaitant faire la requête, à savoir le pair 18 qui a une qualité très faible à hauteur de 7.33. C'est à cause de cela que l'utilité en FM chute. Ensuite, lorsque le médiateur passe en mode réquisition, il peut à nouveau sélectionner des pairs ayant une qualité correcte, à commencer par le pair 2 qui a une qualité de 189.13. À partir de ce moment, l'utilité de l'initiateur FM remonte au dessus de l'utilité en TA.

- exemple 3 avec un ratio $\frac{N^+}{N}$ faible

r_i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\vec{Q}$	195.64	153.72	53.16	5.63	88.32	108.07	27.78	16.48	78.06	40.66
$\vec{B}$	-95.72	-77.10	-34.45	-14.89	-48.70	133.94	-57.25	-42.78	-85.30	-95.10
r_i	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$\vec{Q}$	99.44	128.00	167.30	82.48	148.06	142.23	34.54	117.19	39.47	103.23
$\vec{B}$	-112.49	122.46	-109.14	196.61	-108.78	-17.10	133.31	-95.97	-98.54	-20.60

Dans cet exemple, très peu de fournisseurs (4) désirent réaliser la requête : $\frac{N^+}{N} = 0.2$. Il s'agit des pairs 6, 12, 14 et 17 qui ont fait des offres relativement élevées, aucune n'étant inférieure à 120.
Dans la médiation flexible, trois comportements se détachent comme on peut l'observer sur la figure 4.11.

1. comportement A
   Les pairs concernés sont les quatre pairs ayant la volonté de réaliser la requête. Lorsqu'ils sont en mode compétition, leur utilité augmente pour chaque nouveau sélectionné, le niveau du $n + 1^{ème}$ diminuant à chaque fois. Lorsque les réquisitions commencent à se mettre en place, leur utilité décroît jusqu'à être proche de 0 lorsque $n = 20$. Ce grand nombre de réquisitions qu'ils doivent soutenir financièrement alourdit la facture à chaque nouvelle réquisition.
2. comportement B
   Ce comportement correspond aux premiers réquisitionnés. Tant qu'ils ne sont pas sélectionnés, leur utilité est négative puis elle commence à remonter une fois qu'ils changent de statut grâce à la compensation financière fournie. Leur utilité est en dent de scie car la facturation liée aux réquisition dépend du $n+2^{ème}$ dont le niveau peut varier en fonction de son offre ou de sa qualité. Dans le cas où sa qualité est assez élevée, l'offre théorique à atteindre augmente alors.
3. comportement C
   Les derniers réquisitionnés supportent les coûts de réquisition de tous les autres, d'où la baisse assez forte de leur utilité. Lorsque le médiateur les sélectionne enfin, la compensation financière est calculée par rapport au $n + 1^{ème}$ qui appartient lui-même à ce cas, entraînant que la compensation financière est très faible.

Les utilités des pairs en TA sont comme dans les exemples précédents croissantes ou décroissantes

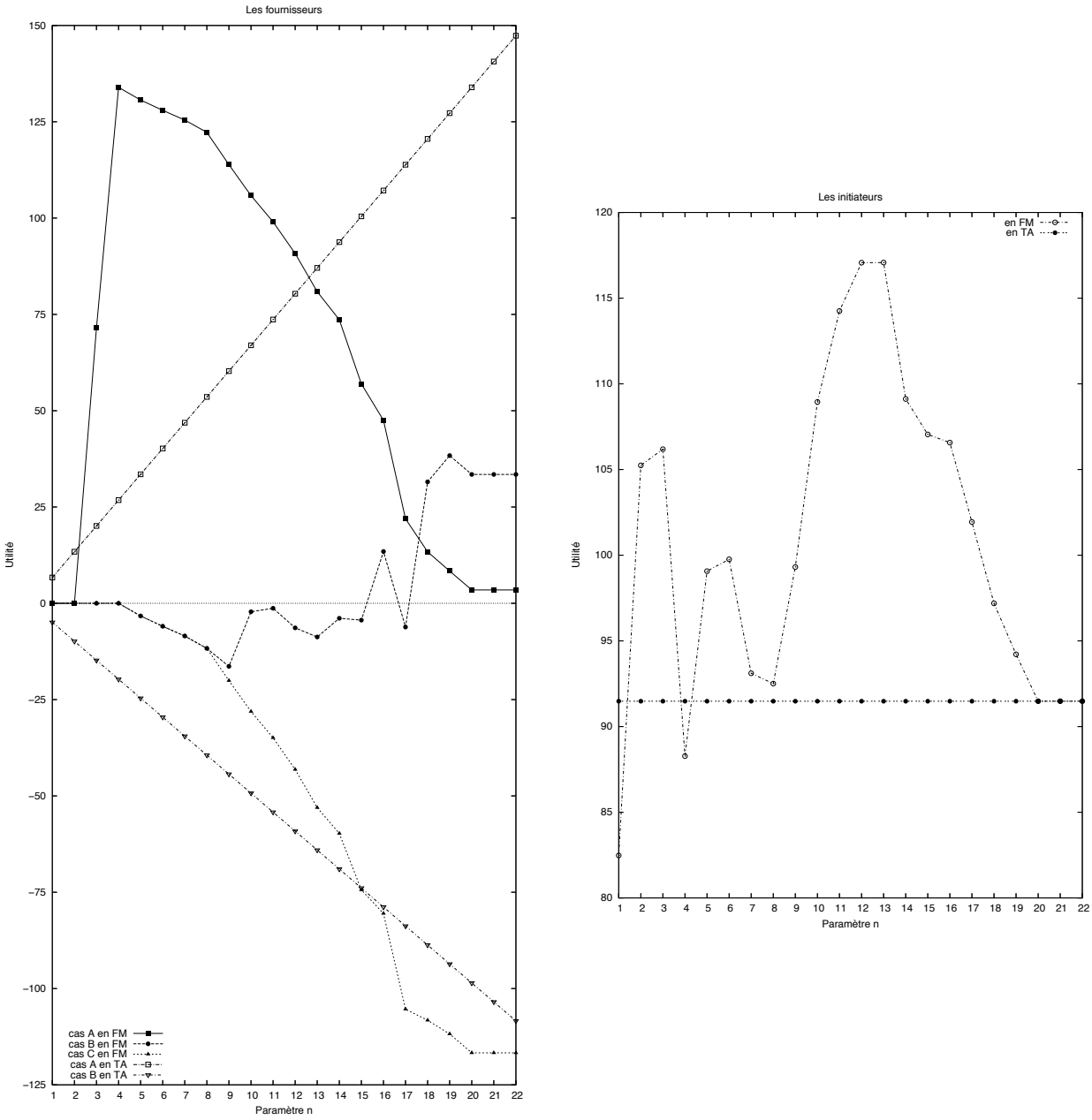


Figure 4.11 – Variation de l'utilité des pairs en fonction de n pour un ratio $\frac{N^+}{N}$ faible

linéairement. On constate le même comportement pour les pairs souhaitant réaliser la requête que dans l'exemple 2 précédent. En ce qui concerne les pairs ne désirant pas faire la requête, deux groupes se distinguent (ceux des comportements B et C). Les premiers réquisitionnés préfèrent la médiation flexible au tirage aléatoire, la compensation financière leur suffisant à compenser leur réquisition tandis que les pairs du comportement C sont mécontents de la médiation flexible dès lors qu'ils sont choisis. Avant leur sélection, leur utilité était certes négative mais elle était supérieure à celle en TA.

On constate que l'utilité de l'initiateur en FM est toujours supérieure à celle obtenue en TA, à part un point lorsque $n = 4$. Ce cas correspond au pair sélectionné (pair 17) qui a une qualité très faible de l'ordre de 34.54. Le médiateur l'a sélectionné car il est très intéressé pour réaliser la requête vu que son offre est égale à 133.31. Mais on observe que pour la suite, cette sélection n'impacte plus sur l'utilité de l'initiateur qui remonte tout de suite après. Le même comportement est observé quand n est égal à 7 et 8 où nous sommes passés en réquisition. Les pairs sélectionnés à ce moment (pairs 3 et 5) ont une qualité relativement faible mais ont aussi fait des offres pas trop élevées en valeur absolue leur permettant d'être retenus.

4.2.3.3 Conclusion

Nous pouvons tout d'abord constater que l'initiateur de la médiation flexible est toujours plus satisfait que celui en tirage aléatoire, hormis au moment de la transition entre les modes de compétition et de réquisition où son utilité baisse avant de réaugmenter après cette phase d'adaptation.

Nous pouvons aussi conclure que la réquisition a un impact sur l'utilité des pairs. En effet, dès lors que le nombre de pairs ne voulant pas réaliser la requête est supérieur au nombre de ceux qui veulent la faire, les utilités en FM en pâtissent. Cependant, à part dans l'exemple 3 où nous avons poussé ce rapport à l'extrême, les pairs ne désirant pas traiter la requête sont tout de même plus satisfaits avec la médiation flexible qu'avec un simple tirage aléatoire. Quant aux autres pairs, dès que la partie réquisition de FM commence à devenir conséquente en nombre, leur utilité devient plus faible que celle en TA. Mais, le nombre de pairs désirant traiter la requête devient lui aussi réduit donc moins de pairs sont mécontents en FM qu'en TA sur l'ensemble de tous les pairs du système.

Ces résultats nous montrent que la médiation flexible est sensible au changement du nombre de pairs sélectionnés surtout dans des cas où peu de fournisseurs souhaitent faire la requête.

4.2.4 Conclusions et limites de l'évaluation sur un tour

L'étude sur la variation d'oméga nous a montré que ce paramètre joue un rôle très important dans les sélections réalisées par la médiation flexible. Il est déterminant sur les comportements des pairs qu'ils soient initiateurs ou fournisseurs car selon la valeur d'oméga, la satisfaction des uns et des autres est touchée positivement ou négativement. Ce paramètre traduit bien la flexibilité que notre médiation peut avoir au niveau de son application auprès des différents pairs.

Le paramètre n a, quant à lui, un rôle déterminant sur les conséquences pouvant apparaître sur le comportement des pairs. En effet, il peut permettre dans certains cas à des pairs d'être très satisfaits et à d'autres de l'être moins. La médiation flexible est ainsi très sensible au nombre de fournisseurs pouvant être sélectionnés, d'autant plus si elle utilise la réquisition comme mode de facturation.

Par ces expérimentations sur un tour, nous avons pu nous rendre compte du fonctionnement assez

simple de la médiation flexible. Cependant, les simulations pouvant être faites deviennent assez rapidement limitées dans ce contexte à un tour. Pour cette raison, nous arrêtons les simulations à un tour pour passer aux expérimentations sur plusieurs tours. Ces dernières ont pour but de nous montrer comment se comporte la médiation flexible sur un nombre d'exécutions plus élevé afin de voir si elle réagit bien à ce nouveau contexte. En effet, réaliser plusieurs tours de médiation successifs apporte de nouvelles contraintes comme par exemple, voir si l'argent circule correctement entre tous les pairs, voir si les pairs restent abonnés auprès du médiateur ou s'ils sont mécontents...

4.3 Analyse du comportement de la médiation flexible sur plusieurs tours

La mise en place de la médiation flexible dans un contexte où elle s'exécute successivement de nombreuses fois ne modifie pas son fonctionnement de manière générale. Les changements que nous observons se situent dans son environnement. Par exemple, les pairs n'ont plus un comportement sur un tour mais un comportement sur plusieurs : cela entraîne un changement de stratégie chez eux, à savoir que désormais, ils vont raisonner sur du long terme sur leurs besoins, attentes et gérer leurs capacités ou argent d'une autre manière. Le but de ces expérimentations est de prouver que la médiation flexible satisfait aussi les pairs sur plusieurs tours.

Pour les expérimentations sur plusieurs tours de médiation consécutifs, nous nous sommes intéressés à deux types de processus, en particulier, à savoir la maximisation de l'utilité globale du système et la répartition optimale de charge. La maximisation de l'utilité alloue une requête à n fournisseurs de telle sorte que ces pairs permettent de maximiser l'utilité globale du système, sachant que ce principe ne garantit pas de maximiser l'utilité personnelle de chaque pair. Ce processus a pour but de montrer l'importance que peut prendre la satisfaction des pairs dans un système. Les travaux liés ont été présentés dans [42]. Quant à la répartition optimale de charge, son médiateur choisit les n fournisseurs qui permettent l'obtention d'un temps de réponse minimal pour la requête au moment où celle-ci est posée. La comparaison avec ce second processus a pour but de montrer que la médiation flexible peut être employée dans un cas d'utilisation pratique tel que l'équilibrage de charge. Les résultats de cette comparaison ont été publiés dans [42, 43].

4.3.1 Compléments sur la mise en place de la simulation de la médiation flexible

Nous précisons ici des informations supplémentaires sur les choix d'implémentation qui ont été faits lorsque la validation se situe dans un cadre à long terme, avant de nous intéresser aux choix spécifiques aux rôles des pairs. Sur plusieurs tours de médiations, l'ensemble des pairs et toutes leurs données évoluent dans le temps et plus particulièrement à chaque médiation. C'est pour cela que l'étude sur le long terme de la médiation flexible est intéressante.

4.3.1.1 Capacité de traitement des fournisseurs et des médiateurs

Une requête représente au niveau des fournisseurs une certaine charge de travail que l'on appelle coût et qui est exprimé dans une unité quelconque (il peut correspondre à l'occupation du CPU, de l'espace disque...). Ainsi, un fournisseur possède une certaine capacité de traitement en un top qui correspond à la charge de travail qu'il peut réaliser en un top. Par exemple, un fournisseur a une capacité de traitement de 100 unités. Si une requête req_1 (resp. une requête req_2) représente 80 unités (resp. 150), un top suffira au fournisseur pour traiter la requête req_1 tandis qu'il lui faudra un top et demi afin de réaliser req_2.

L'idée de la capacité du médiateur est un peu similaire mais ne correspond pas au même type de charge de travail. Ainsi, pour réaliser une médiation, un médiateur a un nombre d'opérations obligatoires à exécuter. Nous avons vu que la complexité pour la sélection de la médiation flexible était en $\Theta(N \log_2(N))$, celle de la facturation en $\Theta(N \times min(n, N))$ (dans le pire des cas, elle est en $\Theta(N^2)$). Ainsi, le processus de la médiation flexible fait au maximum N^2 opérations. Nous fixons que le médiateur peut traiter 100 requêtes par top.

4.3.1.2 Définition et traitement des requêtes

Il existe plusieurs types de requêtes pouvant être demandés par l'initiateur. Elles ne possèdent pas de contenu à proprement parler, seulement un type car nous considérons ici que les pairs capables de faire tous les types de requêtes donc aucun matchmaking n'est employé. On considère ici qu'un seul initiateur est employé. En effet, l'envoi de Y requêtes peut être géré soit par Y initiateurs qui envoient 1 requête, soit par un seul initiateur qui lance Y requêtes. Nous prenons en compte cette dernière hypothèse car l'initiateur a la possibilité de demander plusieurs types de requêtes. Cela permet également de garantir une évaluation de la qualité cohérente pour toutes les simulations.

Les requêtes sont traitées de manière FIFO par les médiateurs et les fournisseurs. Ainsi, lors de la réception des messages de requêtes chez l'un ou l'autre, l'ordre d'arrivée est sauvegardé afin que des requêtes ne restent pas pendant un temps infini chez un pair au risque qu'elles ne soient pas traitées.

4.3.1.3 Choix au niveau de l'initiateur

L'initiateur ne s'intéresse qu'à la qualité des réponses qui lui sont fournies et si le nombre de fournisseurs qu'il avait demandé correspond au nombre fourni. Ces données se retrouvent dans le calcul de son utilité.

La qualité des réponses est évaluée sur la base du temps de réponse. Nous pouvons voir sur la figure 4.12 le cheminement des messages nécessaires à la réalisation d'une requête, basé sur le principe de routage des messages du matchmaking (section 1.1.2.2). Nous avons fait le choix de différencier le traitement au niveau du médiateur, du traitement effectué par les fournisseurs car cela permet d'avoir leurs temps de réponse propres. En effet, sans ce choix, si un des deux types de pairs est saturé, le temps de réponse en pâtit sans que l'initiateur sache si le problème vient du médiateur ou du fournisseur. Or, dans les simulations effectuées ici, seul le temps de réponse des fournisseurs nous intéresse. Entre l'interrogation d'un fournisseur et sa réponse, l'initiateur attend au minimum 3 tops dont 2 qui correspondent au temps de transit des messages (étapes 3 et 4). Nous aurions pu enlever ces deux tops du calcul final vu que le temps de transit dans le réseau est commun à tous (fixé à 1) et que donc ces deux tops sont comptabilisés pour tous. Cependant, on pourrait supposer par la suite que ce temps pourrait être variable. Au niveau du fournisseur, son temps de traitement est donc au minimum de 1 mais il peut être supérieur s'il est chargé ou si la requête est lourde.

Ainsi, la réponse d'un fournisseur fournie dans le temps minimal est évaluée comme ayant la qualité maximale, à savoir 200. La valeur maximale de temps de réponse tolérée par l'initiateur est de deux fois le temps minimal, à savoir 6 tops. Au delà de ce nombre, l'évaluation faite sur la qualité de la réponse est nulle. Entre les deux, l'évaluation de la qualité est décroissante comme on peut le voir sur la figure 4.13.

L'initiateur renvoie la qualité moyenne de tous les fournisseurs qui lui ont été proposés, au médiateur à chaque fois qu'il a reçu 300 réponses ou tous les 10 tops (à condition qu'il y ait eu des modifications depuis le dernier envoi de qualité). Cet envoi périodique permet de garantir une évaluation de la qualité assez fraîche pour l'initiateur et pour le médiateur. Le fait d'envoyer la qualité moyenne et non la qualité

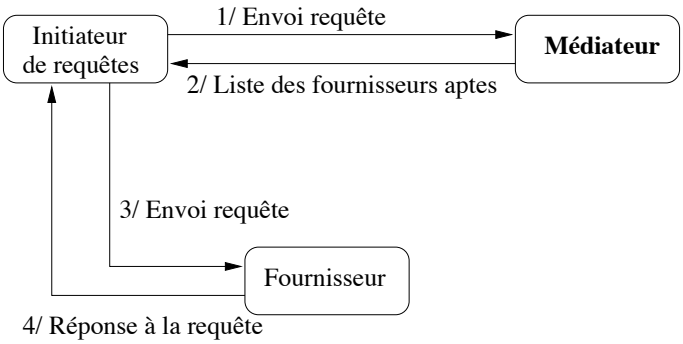


Figure 4.12 – Protocole d'échange des messages pour la réalisation complète d'une requête

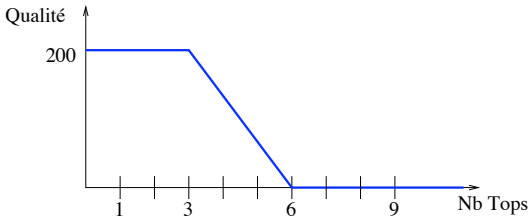


Figure 4.13 – Évaluation de la qualité par l'initiateur

instantanée évite que des fournisseurs très rapides pour une médiation donnée alors qu'ils sont lents en temps normal, se retrouvent à avoir une qualité ne correspondant pas à la réalité. On peut rencontrer le cas où un fournisseur n'a pas encore envoyé sa réponse au moment du retour de qualité. Dans ce cas, l'initiateur évalue la qualité qu'il aurait eu s'il avait fourni sa réponse dans le top en cours. Une fois qu'il aura reçu la réponse du pair en question, il supprime la qualité évaluée de ce fournisseur pour sa réponse non encore reçue et met à jour sa qualité moyenne en lui attribuant sa valeur réelle.

4.3.1.4 Choix au niveau du fournisseur

Lors de son abonnement auprès d'un médiateur, le fournisseur reçoit un message de la part de celui-ci lui indiquant lui avoir créé un représentant. Celui-ci reçoit alors les préférences de la part de son fournisseur : les types de requêtes qu'il désire obtenir, combien d'unités de travail coûte chaque type de requêtes, la charge maximale qu'il tolère (en pourcentage : 200% correspond à 2 tops de travail), le nombre d'unités de capacité qu'il lui accorde...En théorie, le fournisseur a la possibilité de faire évoluer ces données en cours d'exécution. Dans un premier temps, nous considérons que seul le dernier paramètre peut être modifié. Le fournisseur avertit son représentant sur le nombre d'unités qu'il lui accorde uniquement lorsque sa charge change, à savoir lorsqu'elle franchit un certain pallier de charge.

Le fournisseur a la possibilité de se désabonner d'un médiateur s'il considère ne pas être satisfait par celui-ci. Lors d'une même simulation, son représentant l'avertit des médiations qui lui sont proposées, lui précisant les requêtes qu'il a eues ou pas et celles qu'il désirait faire ou pas. Par contre, tout comme ce qui a été présenté jusqu'ici, le fournisseur n'est pas averti de l'aspect monétaire de la médiation. À partir de ces informations, le fournisseur calcule la somme de ses utilités sur l'ensemble des médiations. Il dispose d'un seuil de tolérance en dessous duquel il considère que le médiateur ne le satisfait plus et alors, il se désabonne. Ensuite, il peut se réabonner en laissant passer quelques tops afin de vérifier si les

requêtes envoyées par le médiateur ont évolué. Initialement, une seconde hypothèse de désabonnement concernant la surcharge de travail avait été mise en place. Mais, après quelques simulations, nous avons constaté que le délai entre la prise de décision de se désabonner et celui de se réabonner était trop long à cause des échanges de messages nécessaires via le réseau. Nous avons alors décidé d'employer une autre technique basée sur la mise en sommeil du représentant comme cela sera présenté dans la section 4.3.1.6.

4.3.1.5 Choix au niveau du médiateur

Nous présentons ici différents mécanismes spécifiques au médiateur, à savoir sa méthode de redistribution de l'argent, sa gestion des désabonnements et sa gestion des requêtes.

Définition de la qualité

Lors de l'arrivée d'un fournisseur dans la médiation, le médiateur ne connait pas la qualité de celui-ci. Initialement, nous avions décidé de fixer la qualité d'un nouvel arrivant à la valeur maximale, à savoir 200. Une période d'apprentissage était nécessaire afin que le médiateur puisse évaluer correctement la qualité de chacun des fournisseurs. Or, selon le fonctionnement des processus de maximisation de l'utilité et de répartition optimale, ces derniers n'ont pas cette période d'apprentissage car pour réaliser leur sélection, ils ont besoin de connaître les coûts des fournisseurs, données auxquelles le médiateur de la médiation flexible n'a pas accès normalement mais qui lui seraient utiles afin de calculer la qualité d'un fournisseur. Afin de ne pas pénaliser la médiation flexible vis-à-vis des autres processus, nous avons décidé de fournir au médiateur les coûts que les fournisseurs ont pour chaque type de requêtes.

Redistribution des gains du médiateur

Nous avons indiqué dans la section 3.4.4 que le médiateur ne perdait pas d'argent mais que par contre, il pouvait en gagner. Il redistribue cet argent aux fournisseurs à chaque fois que le ratio entre le solde de ses gains et le montant total mis en circulation (nombre de fournisseurs $\times$ solde initial fixé à 2000) est supérieur à 25%. Dans un premier temps, nous avions décidé de redistribuer l'argent de manière identique entre tous les représentants. Mais, nous nous sommes rendus compte qu'un phénomène de famine apparaissait, à savoir que l'argent était emmaganisé par certains fournisseurs au fur et à mesure de l'évolution des requêtes sans que ceux-ci le remettent en circulation via leurs offres. Ce phénomène provoquait que les fournisseurs ayant une qualité relativement faible ne pouvaient jamais obtenir de requêtes, leur offre ne permettant pas de compenser ce phénomène. Afin d'éviter ce problème de famine et permettre à tous de participer, nous avons décidé que le médiateur ne redistribuerait de l'argent qu'à ceux qui possédaient un solde inférieur au solde initialement fourni aux représentants lors de leur abonnement.

Gestion des données du fournisseur en cas de désabonnement

Lors du désabonnement d'un fournisseur, pour les raisons évoquées dans la section précédente, nous avions plusieurs choix possibles : soit supprimer complètement l'ensemble des données concernant ce pair, à savoir son représentant, sa qualité, le solde que celui-ci possédait... soit sauvegarder pendant une certaine durée ces mêmes données, tout en faisant évoluer le solde du représentant. Nous avons choisi cette seconde possibilité afin de permettre au pair d'intégrer à nouveau le système sans avoir à refaire ses preuves. Nous gardons ses informations en mémoire durant 25 tops. Concernant le solde du représentant, s'il possédait plus que le solde initial, le montant à son retour aura diminué ; si son solde était inférieur, le médiateur commence à le remonter au solde initial (via ses gains au cours des médiations) dans le but de pouvoir supprimer l'argent mis en circulation pour ce pair dans le cas où celui-ci ne revienne

pas. La figure 4.14 illustre ce principe. Ainsi, si le fournisseur revient entre temps, il récupère le solde courant que le médiateur a recalculé pour lui à chaque nouveau top et la qualité qu'il avait en quittant le processus. S'il ne revient pas avant l'écoulement du temps de sauvegarde, le médiateur supprime toutes les informations le concernant ainsi que son représentant. De plus, il supprime du solde global l'argent initialement confié au représentant qu'il a introduit dans le processus.

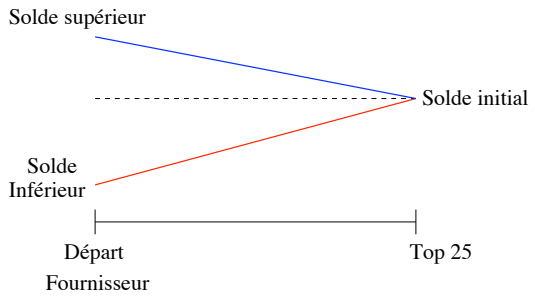


Figure 4.14 – Recouvrement du solde du représentant lors de son désabonnement

4.3.1.6 Choix au niveau du représentant

Le représentant commence réellement à être actif au moment où il reçoit les préférences de son fournisseur. Avant, il ne peut pas répondre aux demandes du médiateur. Ensuite, il peut participer aux médiations en faisant des offres. Celles-ci sont composées de plusieurs éléments qui ont été présentés dans la figure 2.4 : ses préférences et sa charge produisent l'évaluation qui combinée au solde permet d'aboutir à l'offre. De plus, lorsqu'il considère avoir envoyé trop de travail pour son fournisseur, il a la possibilité de se mettre en sommeil.

Prise en compte de la charge dans l'évaluation d'une requête

Afin de déterminer l'impact de la charge sur l'évaluation qui va être faite, nous étudions :

- le nombre de tops que la requête proposée va prendre selon son coût et le nombre d'unités que le représentant a à sa disposition pour un top.
- le nombre de tops déjà occupés par le travail précédemment apporté à son fournisseur.

Le représentant évalue alors le paramètre *charge* : s'il est égal à 1, cela indique que sa charge actuelle ne l'empêche pas de faire la requête car elle est inférieure à 1 top, s'il est négatif, cela traduit un désintéressement pour la requête dû à sa charge actuelle qui est excessive. Voici les valeurs que le paramètre *charge* peut prendre :

- maximal lorsque la charge se situe entre 0 et 100% : le paramètre est alors fixé à 1.
- toléré entre 100 et 400% (charge maximale) : le paramètre diminue par pallier en fonction du nombre de tops déjà occupés par le travail précédemment acquis et le nombre de tops occupés par la requête étudiée. Si ces deux données occupent exactement la charge maximale, le paramètre *charge* est nul.
- inacceptable au dessus : le paramètre est alors négatif, proportionnellement au nombre de tops supplémentaires par rapport à la charge maximale.

Définition de l'évaluation d'une requête

Tout d'abord, nous devons déterminer les préférences du représentant à partir des préférences de son fournisseur. Le représentant regarde si la requête intéresse ou non son fournisseur selon les préférences envoyées par celui-ci. Nous avons fixé le paramètre *préférences* à 1 s'il la veut et à -1 sinon.

L'évaluation est obtenue en combinant les paramètres *charge* et *préférences* comme cela a été indiqué sur la figure 2.4. L'algorithme 2 illustre le calcul de l'évaluation à partir des *préférences* et de la *charge* :

Entrées : préférences, charge
Sortie : évaluation

Début
Si (préférences $\geq$0) **Alors**
  évaluation $\leftarrow$ preférences $\times$ charge
Sinon
  Si (charge $\geq$0) **Alors**
    évaluation $\leftarrow$ preférences $\times$ (1 - charge)
  Sinon
    évaluation $\leftarrow$ 2$\times$ charge
  Fin Si
Fin Si
Fin

Algorithme 2: Calcul de l'évaluation d'une requête sur la base des préférences et de la charge

Nous constatons ici que la charge a un ascendant sur les préférences. Cela se justifie par le fait que nous sommes dans un contexte d'équilibrage de charge.

Définition de l'offre

Une fois la partie *évaluation* définie, il nous faut déterminer l'offre. L'algorithme 3 nous indique comment est définie l'offre. Deux cas se distinguent pour lesquels, nous sommes obligés de faire intervenir le signe de la charge. Dans l'un, c'est le solde qui est utilisé tandis que pour l'autre, c'est le solde initial. Cette différence est dûe au fait que le second cas correspond aux offres négatives, ce qui signifie que le pair ne désire pas faire la requête et donc, il doit miser son argent afin d'être sûr de ne pas l'obtenir. Le premier cas correspond aux offres positives : le pair fait ses offres proportionnellement à ses moyens financiers.

Entrées : évaluation, solde, soldeInitial
Sortie : offre

Début

Si ((évaluation$\geq$ 0) ou (évaluation <0 et charge $\geq$0)) **Alors**
offre $\leftarrow$ évaluation $\times \frac{solde}{10}$
Sinon
offre $\leftarrow$ évaluation $\times \frac{soldeInitial}{10}$
Fin Si
Fin

Algorithme 3: Calcul de l'offre d'une requête à partir de l'évaluation et du solde monétaire

Mise en sommeil du représentant
Un représentant considère son fournisseur comme étant trop chargé lorsqu'il pense lui avoir fourni trop d'unités de travail par rapport à la charge maximale que le fournisseur lui avait réservé (nous avons fixé ce paramètre à 400%). Ce nombre est mis à jour périodiquement par le fournisseur via l'envoi de message comme précisé dans la section 4.3.1.4. Nous avons aussi vu dans cette section le fait que le temps de désabonnement et de réabonnement était trop long, d'où la possible mise en sommeil du représentant. En effet, celui-ci avertit le médiateur qu'il ne peut plus travailler pour le moment, il passe alors dans la liste des représentants inactifs que le médiateur n'interroge plus lors des médiations.

4.3.1.7 Relation entre le fournisseur et son représentant

Dans la médiation flexible, la charge évaluée par le représentant et par son fournisseur peut être désynchronisée à cause du délai d'attente dû au réseau. Dans les autres processus que nous étudions (maximisation de l'utilité globale du système et répartition optimale de charge), le médiateur n'a pas besoin d'interroger le représentant vu qu'il possède toutes les données pour attribuer dans les meilleures conditions les requêtes. Ainsi, afin de pallier à ce problème et de ne pas pénaliser la médiation flexible, nous avons mis en place une boîte noire où sont stockées les requêtes obtenues par le représentant pour une durée de 5 tops (temps pour que la requête parvienne jusqu'au fournisseur via l'initiateur). Le représentant y ajoute les nouvelles requêtes obtenues tandis que le fournisseur supprime celles qu'il a terminées. De cette manière, le représentant peut avoir à jour la valeur de la charge de son fournisseur.

4.3.2 Analyse et comparaison de la médiation flexible avec un processus de maximisation de l'utilité globale du système

4.3.2.1 Principe du processus de maximisation de l'utilité globale du système

La sélection des pairs se fait en retenant l'allocation permettant de maximiser l'utilité globale du système. Ainsi, le problème pour l'obtention de l'allocation $\vec{alloc}$ est de maximiser la somme des utilités des fournisseurs et de celle de l'initiateur :

$$\vec{alloc} = arg\ max(\sum_{i \in \mathcal{P}_m^{req}} u_i + u_{us}) \text{ avec } us \in \mathcal{U}s$$

avec u_{us} l'utilité de l'initiateur.

Si plusieurs possibilités se présentent, il en choisit une au hasard. Nous notons MAX le processus de maximisation de l'utilité.

L'utilité des pairs dans le processus MAX est la suivante pour une requête req donnée :

$$\forall i \in \mathcal{P}_m^{req}, u_i \quad = \left| \begin{array}{ll} \vec{B}\,[\mathrm{i}] & \text{s'il est sélectionné} \\ 0 & \text{sinon} \end{array} \right.$$

Celle de l'initiateur est identique à celle définie pour la médiation flexible (définition 2.17).

4.3.2.2 Objectifs

Le fait de maximiser l'utilité globale du système n'implique pas nécessairement que l'utilité de chaque pair est elle-même maximisée. Pour cette raison, par la suite, nous nous intéressons à l'utilité de chaque pair et nous cherchons à savoir si la médiation flexible est capable d'apporter une meilleure satisfaction individuelle aux pairs, tout du moins au plus grand nombre.

Pour chaque pair, nous étudions la variation de la différence entre la somme de ses utilités obtenues à chaque médiation en FM et la sommes de celles obtenues en MAX en fonction du nombre de requêtes envoyées. Si la courbe d'un pair est supérieur à 0, la médiation flexible est préférée à MAX, sinon c'est l'inverse.

4.3.2.3 Choix des valeurs des paramètres

offre	$[-1, 1]$
qualité	$[0, 1]$
N	10
type de requêtes	t1, t2
nombre de requêtes	4000
nombre de requêtes par top	$[20, 130]$
n	1
ω	0.5
capacité de traitement	∞
seuil de satisfaction	-50

Le nombre de pairs étudié ici est fixé à 10 afin d'améliorer la lisibilité des graphiques. Cependant, les expérimentations ont tout de même été menées sur un plus grand nombre de pairs. Les pairs savent réaliser deux types de requêtes, t1 et t2. Ils veulent nécessairement en faire au moins une. Leur capacité de traitement sur un top est infinie : le but de l'étude n'est pas ici de considérer la charge des fournisseurs. De plus, les pairs tolèrent que leur satisfaction descende jusqu'à -50, ensuite ils se désabonnent.

L'initiateur envoie un nombre total de requêtes fixé à 4000. Pour une requête donnée, il demande un seul pair au médiateur. Ce choix est motivé par le fair que dans cette simulation, il n'y a que 10 pairs à étudier. Il a la possibilité d'envoyer entre 20 et 130 requêtes de types t1 ou t2 par top (définition aléatoire de ce nombre). Le type des requêtes envoyé est lui aussi déterminé de manière aléatoire par l'initiateur. Ainsi, il peut tout à fait envoyer que des requêtes de type t1 pendant un top. L'ordre de traitement des requêtes est similaire entre la médiation flexible et le processus de maximisation de l'utilité.

Comme on a pu le noter dans le tableau des paramètres, les offres et qualités ont un intervalle plus réduit que ce qui a été initialement défini dans les autres simulations. Ce choix a été fait afin que les

valeurs des graphiques ne soient pas démesurées. Les offres et qualités ont simplement été obtenues grâce à un principe de réduction de leurs intervalles initiaux, à savoir [-200,200] et [0,200]. Les valeurs de chaque fournisseur sont contenues dans la table 4.1 :

		p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	p_8	p_9	p_{10}
t1	$\vec{Q}$	0.95	0.55	0.35	0.5	0.15	0.35	0.95	0.15	0.45	0.2
	$\vec{B}$	-0.1	0.1	-0.4	0.1	0.6	0.4	-0.6	0.6	-0.1	0.5
t2	$\vec{Q}$	0.45	0.65	0.55	0.1	0.6	0.35	0.05	0.15	0.6	0.45
	$\vec{B}$	0.1	-0.5	0.5	-0.3	0.5	0.8	0.8	0.6	0.1	-0.5

Table 4.1 – Caractéristiques des fournisseurs

4.3.2.4 Analyse et comparaison du comportement des pairs

La figure 4.15 nous indique la différence entre les sommes des utilités obtenues par le pair pour chaque requête entre FM et MAX. Ainsi, si la courbe d'un pair se situe au dessus de l'axe des abscisses, son degré de satisfaction est plus grand en FM qu'en MAX. Nous avons séparé les cas des 10 pairs afin de faciliter la lecture des figures : sur la figure 4.15a, on observe le degré de satisfaction des pairs 1 à 5 tandis que sur la figure 4.15b, se trouve le comportement des pairs 6 à 10.

Durant les 1200 premières requêtes, le médiateur MAX choisit p_1 pour faire le type de requêtes t1 et p_6 pour faire t2. En effet, en examinant l'utilité globale pouvant être obtenue par le processus, ce sont ces deux pairs qui permettent la meilleure somme des utilités selon le type des requêtes avec pour p_1 (resp. pour p_6) 0.85 (resp. 1.15). Or, en examinant leur offre, on constate que p_1 ne souhaite pas réaliser des requêtes de type t1 ($\vec{B}[p_1] = -0.1$) tandis que p_6 est très intéressé par les requêtes de type t2 ($\vec{B}[p_6] = 0.8$). Ainsi, nous constatons sur la figure 4.15b que p_6 est très largement satisfait de MAX vu que ce processus lui attribue toutes les requêtes de type t2 (sans lui attribuer de requête de type t1 qu'il souhaite par ailleurs également faire). Ce pair peut accepter toutes les requêtes qui lui sont assignées vu qu'il a une capacité infinie de traitement. Quant au pair p_1, il préfère FM à MAX car FM ne lui impose pas de faire des requêtes de type t1 et lui fournit de temps en temps des requêtes de type t2. La qualité de p_1 étant très bonne ($\vec{Q}[p_1] = 0.95$), l'initiateur est nécessairement satisfait par les résultats qui lui sont apportés par MAX comme on peut le voir sur la figure 4.16.

Lorsque 1200 requêtes ont été envoyées, le pair p_1 atteint son seuil de mécontentement et se désabonne du processus MAX, celui-ci ne lui fournissant que des requêtes qu'il ne souhaite pas. La sélection faite par le médiateur MAX change alors : p_1 est remplacé par le fournisseur p_8 pour réaliser le type de requêtes t1. La somme des utilités du système devient alors égale à 0.75. Le fournisseur p_5 permettait également d'obtenir la même maximisation mais le médiateur a choisi de sélectionner p_8. Ce dernier, au contraire de p_1 désire faire des requêtes de type t1. Comme il est sélectionné pour toutes les requêtes t1, la différence des sommes de ses utilités en FM et MAX s'inverse et il préfère maintenant MAX à FM qui ne lui fournit des requêtes que de temps en temps. La satisfaction du pair p_1 reste alors stable. p_8 a une qualité beaucoup plus faible que celle de p_1 (0.15 par rapport à 0.95), l'initiateur est alors plus satisfait en FM, sa différence remontant rapidement. Le processus FM lui apporte des requêtes de meilleure qualité.

À 3200 requêtes, le pair p_1 se réabonne auprès du médiateur MAX car les 10 tops d'attente se sont écoulés. Dès lors, le processus MAX rechange la sélection en utilisant à nouveau p_1. Le pair p_8 n'étant plus sélectionné, son ratio remonte légèrement en faveur de FM tandis que le ratio de p_1 remonte lui aussi,

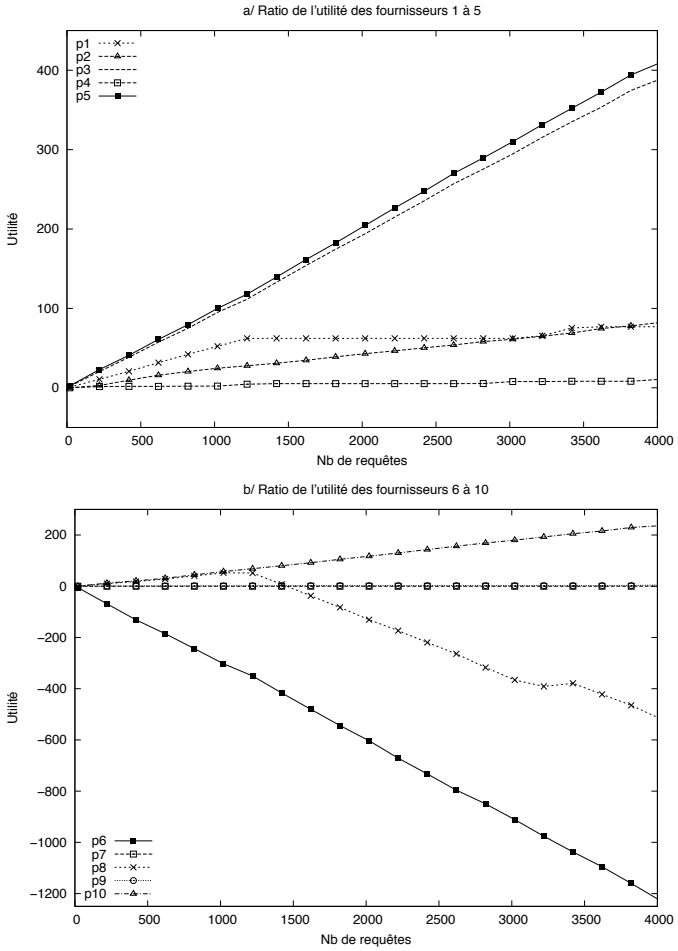


Figure 4.15 – Variation de la différence des sommes des utilités des fournisseurs entre FM et MAX en fonction du nombre de requêtes

étant à nouveau sélectionné pour des requêtes qu'il ne désire toujours pas faire. Son seuil de satisfaction est à nouveau dépassé, il se désabonne à nouveau au niveau de la 3440ème requête, p_8 recommençant à travailler pour le médiateur MAX. La différence de l'initiateur suit ce double changement : il redescend en faveur de MAX le temps de la resélection de p_1 puis remonte au profit de FM.

Sur la figure 4.15, on constate que la majorité des fournisseurs préfèrent la médiation flexible car elle respecte leur choix de vouloir ou non réaliser la requête. Ainsi, les pairs p_1, p_2, p_3, p_5 et p_{10} obtiennent une meilleure satisfaction en FM qu'en MAX. En effet, leurs qualité et offre ne leur permettent pas d'être sélectionné en MAX tandis que FM essaie de fournir du travail pour tous. Les pairs p_4, p_7 et p_9 restent assez neutres dans le choix de l'un ou l'autre des processus. Leurs informations ne leur permettent pas d'être retenus en MAX et très peu en FM.

4.3.2.5 Conclusion

Le processus MAX se limite uniquement à sélectionner toujours les mêmes fournisseurs. La médiation flexible quant à elle permet à tous d'obtenir des requêtes, cette distribution n'étant toutefois pas

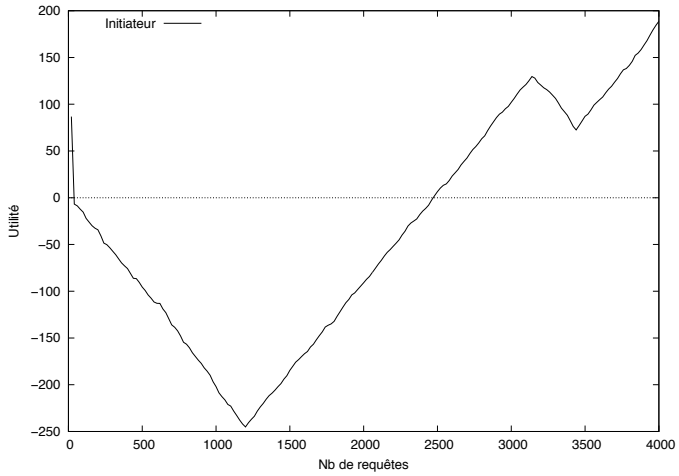


Figure 4.16 – Variation de la différence des sommes des utilités de l'initiateur entre FM et MAX en fonction du nombre de requêtes

toujours homogène entre tous. Elle est dûe au fait que FM doit aussi préserver la satisfaction de l'initiateur en ne lui fournissant pas des réponses de trop mauvaise qualité. Donc, il donne des requêtes de temps en temps aux plus mauvais afin qu'ils trouvent leur compte à rester dans la médiation. Cette expérimentation renforce le côté sociel de la médiation flexible que nous avions déjà observé en partie avec la propriété de Pareto optimalité (définition 1.14).

4.3.3 Analyse et comparaison de la médiation flexible avec un processus de répartition optimale de charge

4.3.3.1 Principe de la répartition optimale de charge

Le mécanisme de sélection employé dans la répartition optimale (RO) ne se base que sur le temps de réponse que les fournisseurs peuvent lui fournir. Le médiateur choisit les fournisseurs proposant le plus petit temps de réponse au moment de la sélection. Pour être mis en place, le processus RO a besoin de toutes les connaissances concernant les fournisseurs, à savoir leur coût pour la requête étudiée ainsi qu'à chaque nouvelle médiation, leur charge courante. Ainsi, la répartition optimale n'utilise pas les offres venant des représentants pour réaliser l'allocation. De plus, on considère qu'une fois une allocation réalisée, le médiateur ne peut pas réattribuer la requête à un autre fournisseur même s'il se rend compte qu'avec la requête suivante, une meilleure répartition était possible. Cette dernière condition implique que le fonctionnement de ce processus est assez spécifique et ne correspond pas totalement à un vrai processus de répartition optimale.

Vu que nous nous intéressons au temps de réponse comme critère et que le processus de comparaison minimise ce critère pour réaliser sa sélection, la médiation flexible est à priori moins bonne que RO. Nous avons tout de même tenu à réaliser ces simulations pour plusieurs raisons :

- voir comment la médiation flexible s'intègre dans un contexte pour lequel elle n'est pas initialement prévue,
- montrer que nous pouvons l'étudier sur un autre critère que l'utilité des pairs,
- voir si la médiation satisfait suffisamment ses pairs pour qu'ils restent lorsqu'ils ont la possibilité de quitter le système.

4.3.3.2 Choix des valeurs des paramètres généraux

N	10, 100, 250, 500, 750, 1000
n	de 1 pair à 25% de N
nombre de types de requêtes	1
nombre de requêtes envoyées	18000
seuil de tolérance	-100
coût d'une requête	$[25, 225]$

Le nombre de pairs capables de réaliser les requêtes proposées peut varier de 10 à 1000, prenant les valeurs explicitées dans le tableau précédent. Pour chaque requête, l'initiateur peut demander de un seul pair à 25% du nombre de pairs capables de traiter la requête.

Le nombre de requêtes envoyées est fixé à 18000 afin d'observer réellement le comportement de la médiation flexible par rapport à la répartition optimale. Les requêtes envoyées sont toutes du même type. En effet, les représentants évaluent l'offre qu'ils font sur la charge de leur fournisseur combinée au coût de la requête. Ici, les fournisseurs n'ont pas de préférence sur la requête, ils veulent tous la faire. Les offres négatives sont obtenues en fonction du taux de charge du fournisseur.

4.3.3.3 Analyse des variations du temps de réponse des pairs en fonction de la charge du système

Objectifs

Nous souhaitons étudier le comportement de la médiation flexible lorsqu'elle est employée dans un contexte d'équilibrage de charge. Nous voulons également l'observer en la comparant à un processus plus spécifique à ce contexte, à savoir le processus de répartition optimale de charge.

Pour chaque nombre de pairs présents, nous étudions la variation du temps de réponse moyen des fournisseurs en fonction de l'évaluation de la charge du système qui est représentée sous la forme d'intervalle prenant les valeurs 0-25, 25-50, 50-75, 75-100 exprimées en %.

Choix des valeurs des paramètres

ω	0.5
charge du système (en %)	0-25, 25-50, 50-75, 75-100

Nous avons fixé oméga à 0.5 afin que les offres et les qualités aient le même impact dans le calcul de la sélection. En effet, les offres sont intéressantes à observer car elles traduisent la charge des fournisseurs tandis que les qualités viennent des retours d'opinion des initiateurs permettant d'évaluer réellement les charges et sont elles mêmes importantes.

La charge du système est établie de la manière suivante. La capacité totale du système sur un top est définie en additionnant toutes les capacités des fournisseurs. Ainsi, la charge théorique du système correspond au ratio entre : la somme de toutes les requêtes envoyées pendant un top divisée par la capacité totale du système. On parle de charge théorique car les fournisseurs peuvent être déjà occupés, entrainant une baisse de la capacité du système pour un top donné. Mais cette remarque n'influence pas les choix faits sur les intervalles de charge utilisés. Pour chaque intervalle proposé, nous calculons le minimum et le maximum de requêtes devant être envoyées par l'initiateur afin que la charge soit dans le bon intervalle. L'intervalle de charge ne varie pas une fois que la simulation est lancée ; il en est de même pour le nombre de fournisseurs. Nous avons choisi de ne pas étudier une charge supérieure à 100% car cette valeur permet de saturer les fournisseurs à chaque top, ce qui est déjà suffisant.

Analyse et comparaison du comportement des pairs

Nous avons réalisé tout un ensemble de simulations en utilisant le même taux de charge et le même nombre de fournisseurs. Nous avons constaté une similitude dans les résultats obtenus. De plus, pour une même simulation, les temps de réponse des fournisseurs sont sensiblement identiques : pour cette raison, nous avons décidé de représenter le temps de réponse moyen pour chaque nombre de fournisseurs étudiés.

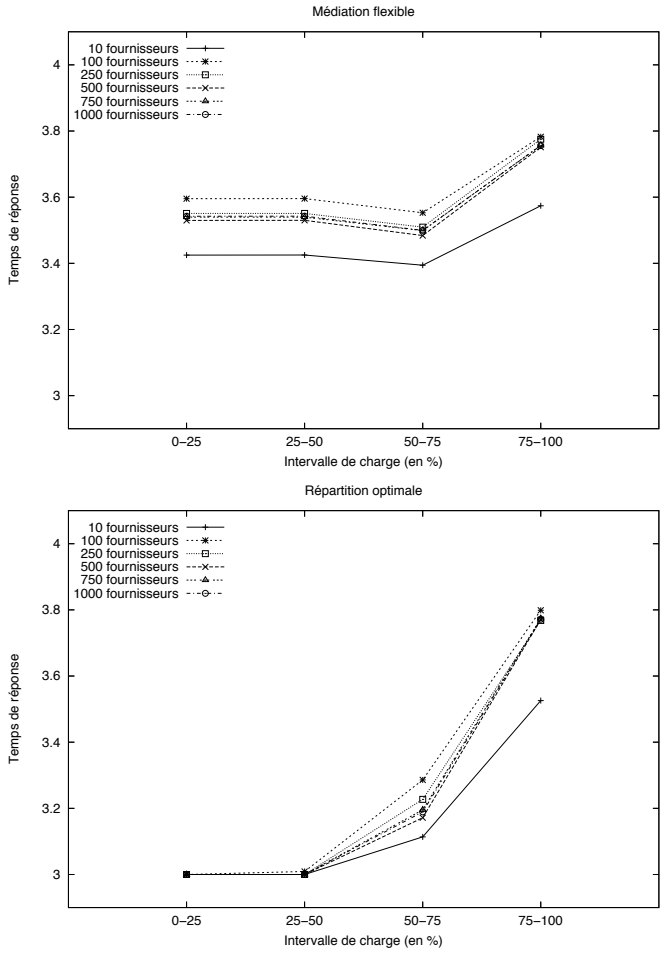


Figure 4.17 – Variation du temps de réponse moyen des pairs en fonction de la charge du système

Nous constatons sur la figure 4.17 que lorsque la charge est comprise entre 0% et 50%, le temps de réponse des deux processus est constant avec pour valeur 3.53 tops en FM et 3 tops en RO. Lorsque le taux de charge est relativement faible comme c'est le cas ici, le médiateur RO adresse la totalité des requêtes qu'il a, aux plus rapides, d'où le temps de réponse à 3 tops (temps minimal pour réaliser une requête). Quant au médiateur FM, il prend en compte à la fois la qualité et les offres. Ainsi, il n'utilise pas nécessairement les plus rapides à chaque nouvelle requête, ce qui explique le temps de réponse à 3.53 tops. Il essaie de promouvoir une politique permettant de fournir du travail à tous les fournisseurs.

Lorsque la charge augmente encore (entre 50% et 75%), le temps de réponse moyen en RO augmente aussi à hauteur de 3.20 tops. En effet, le médiateur est alors obligé de sélectionner des fournisseurs ayant un moins bon temps de réponse car le nombre de requêtes a augmenté. Les plus rapides ne suffisent

plus pour gérer toutes les requêtes et sont d'autant plus rapidement saturés qu'ils étaient les premiers sélectionnés. On constate par contre que le médiateur FM obtient un temps de réponse inférieur à celui qu'il avait lorsque la charge était plus faible. Vu que pour une charge plus faible, il répartissait les requêtes entre tous, les plus rapides ne sont pas surchargés. Ainsi, il n'a pas ressenti les effets de l'augmentation de la charge du système.

Enfin, lorsque la charge est forte (entre 75% et 100%), les résultats des deux processus sont similaires : le temps de réponse est de 3.73 tops. Ce comportement semble correct car à ce niveau, tous les fournisseurs ou presque sont chargés (voire surchargés) et donc le temps de réponse en pâtit.

Conclusion

Le processus RO fournit des temps de réponse meilleurs que ceux obtenus avec la médiation flexible. Cependant, lorsque la charge est faible, RO n'utilise que les fournisseurs les plus rapides, les autres n'ayant jamais de requête tandis que FM leur permet d'en avoir. Ainsi, les fournisseurs les moins rapides de RO, voyant qu'ils n'obtiennent pas de requête peuvent décider de partir vers un autre type de processus où ils pourront espérer travailler. Cela peut alors poser problème lorsque la charge augmente car le médiateur RO peut se retrouver à ne pas avoir assez de fournisseurs pour satisfaire toutes les requêtes qui lui arrivent.

4.3.3.4 Analyse des variations du temps de réponse des pairs en fonction d'oméga

Objectifs

L'objectif est d'étudier la médiation flexible dans un contexte d'équilibrage de charge en observant comment le fait de prendre plus en compte la qualité que l'offre (ou vice-versa) influe par rapport au temps de réponse pouvant être obtenu par le processus de répartition optimale. Nous rappelons ici que la qualité est représentée par le temps de réponse. Ainsi, selon la valeur d'oméga, elle sera plus ou moins prise en compte et donc plus ou moins proche du comportement de RO. Nous voulons aussi observer l'importance que peut avoir le fait de laisser les fournisseurs décider de rester dans le système ou non lorsqu'ils ne sont pas satisfaits (autonomie). En effet, cet aspect est important car les processus ont intérêt de garder un ensemble de pairs suffisamment garni pour pouvoir satisfaire l'initiateur ou supporter une charge excessive. Si peu de pairs reste dans le système, le médiateur peut se retrouver à ne pas pouvoir faire face à la situation.

Pour chaque intervalle de charge, nous mesurons la variation du temps de réponse en fonction de la variation d'oméga avec autonomie (les pairs peuvent quitter le système) ou sans (aucun départ possible).

Choix des valeurs des paramètres

charge du système (en %)	0-25, 25-50, 50-75, 75-100
ω	0, 0.00001, 0.25, 0.5, 0.75, 1
autonomie	oui, non

Nous faisons varier le taux de charge pour chaque simulation afin de voir l'importance que peut avoir ce critère vis-à-vis des deux autres paramètres. Il n'était pas possible d'étudier les trois en même temps : nous représentons les changements de charge sur des graphiques différents.

Les valeurs d'oméga présentées dans la table précédente ont pour but de montrer les différents rapports pouvant exister entre l'offre et la qualité. Nous avons différencié les valeurs 0 et 0.00001. Lorsqu'oméga a pour valeur 0, les offres n'interviennent pas du tout dans le calcul de l'allocation en FM :

les fournisseurs les plus rapides seront alors sélectionnés, qu'ils soient trop chargés ou non. Dans ce cas, nous devrions retrouver les mêmes temps de réponse qu'en RO. Dès qu'oméga n'est plus nul mais très proche de 0, c'est-à-dire qu'il a pour valeur 0.00001, les offres n'interviennent que très peu encore mais cette fois, le signe de l'offre est pris en compte. Ainsi, si un fournisseur est trop chargé, son représentant fait une offre négative : le médiateur sélectionne alors un autre fournisseur.

Le paramètre *autonomie* introduit dans le tableau des paramètres correspond à la possibilité qu'ont les fournisseurs de quitter le système s'ils sont mécontents de ce qui leur est proposé. Leur critère pour se désabonner est la satisfaction qu'ils retirent du processus. En dessous du seuil de satisfaction, ils se désabonnent. Ils se réinscrivent 10 tops plus tard auprès du médiateur. Pour que l'étude des résultats reste correcte envers les deux processus, lorsqu'un processus ne fournit pas les n réponses demandées par l'initiateur, nous prenons le même nombre de réponses pour l'autre processus.

Le comportement de RO est indépendant des valeurs pouvant être prises par oméga. Par conséquent, son temps de réponse est constant. Nous représentons les résultats de RO sur les graphiques en affichant la moyenne encadrée par le minimum et le maximum des temps de réponse obtenus.

Analyse du comportement des pairs lorsqu'ils ne peuvent pas quitter le système

Nous étudions ici le comportement de la médiation flexible et du processus de répartition optimale de charge lorsque les fournisseurs n'ont pas la possibilité de partir du système. Nous rappelons tout de même que dans le cas où les fournisseurs sont trop chargés, les représentants ont la possibilité de se mettre en sommeil. Cela ne compense pas le fait que les fournisseurs puissent être mécontents des médiations mais cela permet de ne pas saturer entièrement les pairs.

Sur les figures 4.18 et 4.19, on observe bien que lorsque $\omega = 0$, les résultats obtenus en FM et en RO sont les mêmes. Les deux processus choisissent les pairs les plus rapides, quel que soit leur volonté à traiter les requêtes. Ce comportement de FM est dû au fait que le médiateur ne prend en compte que la qualité des fournisseurs pour réaliser sa sélection.

Ensuite, les temps de réponse de FM sont similaires sur les figures 4.18a et 4.18b, lorsque la charge est comprise entre 0% et 50%. Le temps de réponse en RO est minimal, à savoir 3 tops : les fournisseurs les plus rapides sont sélectionnés et ils suffisent à accomplir l'ensemble des requêtes vu le niveau de charge. Plus oméga augmente, plus le temps de réponse de FM augmente aussi, atteignant 3.72 tops. En effet, pour une valeur d'oméga proche de 1, les offres par rapport aux qualités ont une plus grande importance dans le calcul de la sélection. Cela entraine une baisse de la qualité des réponses fournies à l'initiateur. Les fournisseurs les moins rapides peuvent alors augmenter leur chance d'être sélectionnés en faisant des offres assez fortes pour compenser leur mauvaise qualité. Le système de seuil limite de satisfaction permet de rester dans des temps de réponses acceptables (on se situe dans le même top que les temps de réponse de RO) car dès que les fournisseurs sont trop chargés, ils font des offres négatives pour ne plus être sélectionnés. Les premiers concernés étant alors les moins rapides.

Sur la figure 4.19, nous nous intéressons cette fois à un taux de charge compris entre 50% et 100%. On constate que pour ces charges, les résultats obtenus en RO ont augmenté, atteignant une valeur moyenne de 3.2 tops sur la figure 4.19a et 3.73 tops sur la figure 4.19b. Les fournisseurs les plus rapides ne suffisent plus pour satisfaire toutes les requêtes envoyées par l'initiateur, le médiateur RO est obligé de sélectionner des fournisseurs moins rapides, d'où l'augmentation du temps de réponse.

Lorsqu'oméga a pour valeur 0 et 0.00001, les temps de réponse de FM et RO sont similaires : les médiateurs réalisent alors les mêmes sélections. Nous observons alors que le fait que le signe de l'offre soit pris en compte en FM pour $\omega = 0.00001$ ne fait pas varier la sélection dans ce cas.

Pour une charge comprise entre 50% et 75%, le temps de réponse en FM augmente jusqu'à ce

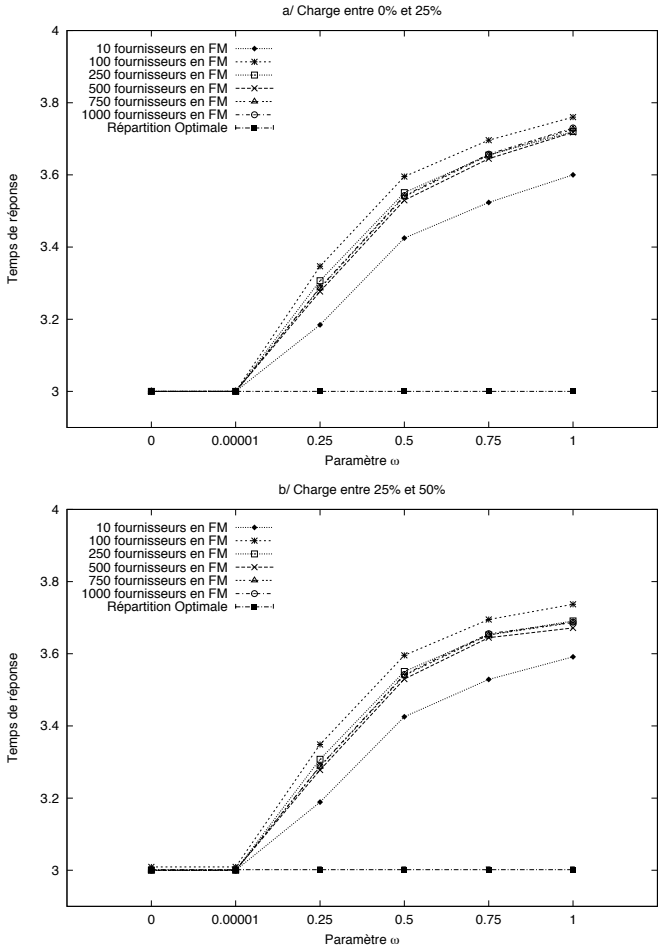


Figure 4.18 – Variation du temps de réponse moyen des pairs en fonction de ω sans automonie (charge entre 0% et 50%)

qu'oméga soit égal à 0.5 avant qu'il ne se stabilise aux environs de 3.53 tops . Ce résultat est moins élevé que celui obtenu sur les figures 4.18a et 4.18b grâce aux fournisseurs les plus rapides. Comme la charge augmente, le médiateur est obligé de travailler avec plus de fournisseurs pour distribuer les requêtes, que les fournisseurs soient rapides ou non. Les moins rapides peuvent obtenir des requêtes au départ mais ils deviennent rapidement surchargés tandis que les plus rapides peuvent gérer plus de requêtes et ainsi faire des offres positives plus longtemps.

La figure 4.19b représente les temps de réponse quand le taux de charge est maximal. Le temps de réponse de RO a beaucoup augmenté, passant de 3.2 à 3.73 tops : le médiateur RO est obligé d'employer quasiment tous les fournisseurs, même les moins rapides, d'autant que les plus rapides étant surchargés se mettent en sommeil. Le cas se présente également en FM. On constate d'ailleurs que leurs résultats sont quasi-similaires jusqu'à $\omega = 0.75$. Quand oméga a pour valeur 1, les qualités ne sont plus du tout prises en compte, entraînant que seules les offres interviennent dans le calcul des sélections. Les moins rapides peuvent alors faire des offres leur permettant d'être sélectionnés. De plus, pour $\omega = 0.25$, une baisse apparaît dans le temps de réponse de FM. Pour $\omega = 0$, les offres n'intervenaient pas et donc, les fournisseurs les plus rapides devenaient surchargés mais n'avaient pas moyen de se mettre en sommeil

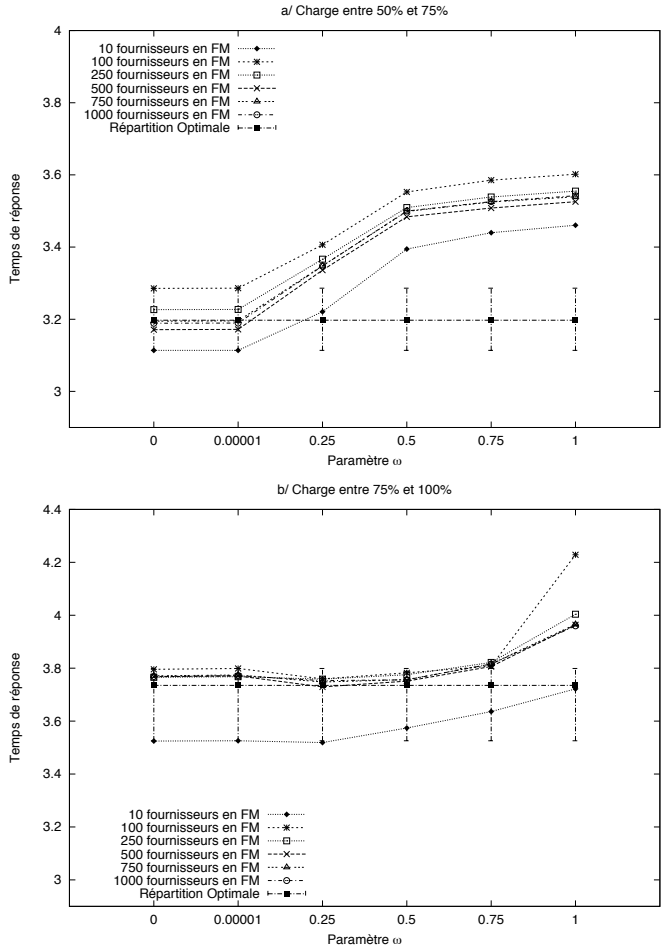


Figure 4.19 – Variation du temps de réponse moyen des pairs en fonction de ω sans automonie (charge entre 50% et 100%)

tant qu'ils n'avaient pas atteint leur limite de charge. Avec $\omega = 0.25$, ce phénomène d'arrêt s'effectue plus tôt grâce aux offres négatives.

Analyse du comportement des pairs lorsqu'ils peuvent quitter le système

Dans cette partie, nous étudions l'impact que peut avoir l'autonomie des fournisseurs. Ils peuvent ici partir du système s'ils sont mécontents car le médiateur leur fournit trop de travail jusqu'à les saturer malgré le mécanisme de sommeil des représentants. Ils se réabonnent 10 tops plus tard, leur charge ayant eu le temps de diminuer.

Quand la charge est comprise entre 0% et 75% (figures 4.20 et 4.21a), les résultats sont similaires aux précédents où les pairs n'ont pas d'autonomie. En effet, pour un tel taux de charge, les fournisseurs n'arrivent pas à être saturés à un point tel qu'ils doivent se désabonner. Dans le cadre de FM, le fait de faire une offre négative ou la mise en sommeil du représentant permet d'éviter le désabonnement, et ce, quelle que soit la valeur d'oméga.

L'importance de l'autonomie apparaît lorsque le taux de charge est compris entre 75% et 100%

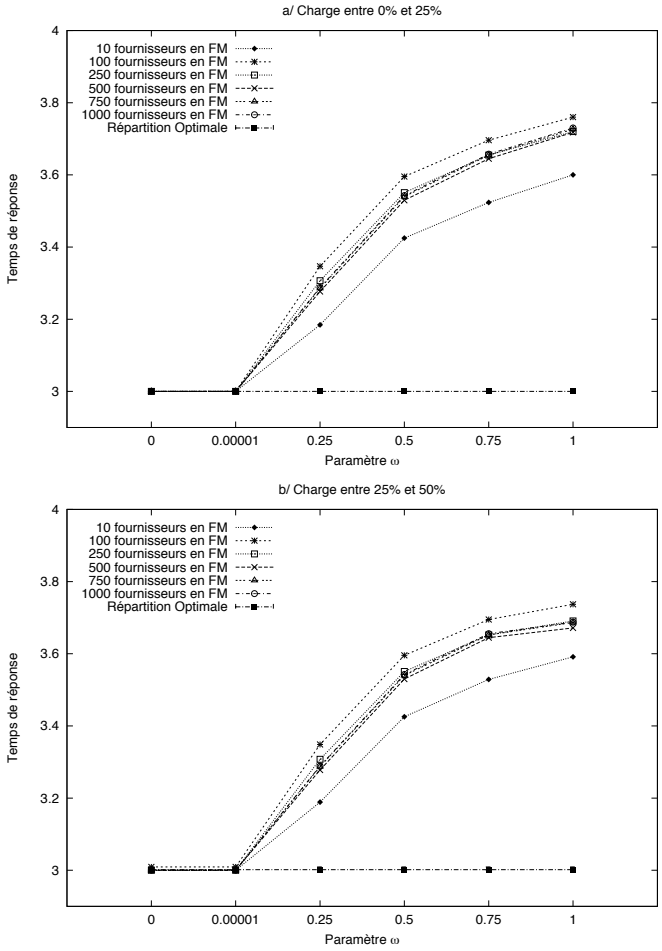


Figure 4.20 – Variation du temps de réponse des pairs en fonction de ω avec automonie (charge entre 0% et 50%)

(figure 4.21b). Le temps de réponse moyen de RO est élevé, à hauteur de 5.2 tops. Le médiateur RO charge d'abord les plus rapides qui, étant vite saturés, se désabonnent. Il est alors obligé de sélectionner des pairs plus lents en attendant que les plus rapides se réabonnent. Cela a pour conséquence d'augmenter le temps de réponse. Ce phénomène n'apparaît pas avec FM. Comme les fournisseurs peuvent faire des offres négatives, ils n'ont pas besoin de se désabonner ou tout du moins beaucoup moins qu'en RO. De plus, le mécanisme de mise en sommeil leur permet également de limiter le nombre de désabonnement car il limite la charge qu'ils peuvent avoir. Les fournisseurs les moins rapides prennent le relais le temps que les autres se réactivent ou refassent des offres positives. Les pairs de FM qui se sont mis en sommeil via leurs représentants sont actifs plus rapidement que ceux qui se sont désabonnés en RO car ils n'ont pas le temps de réabonnement à attendre (communication avec le médiateur) en plus des 10 tops d'attente.

On constate l'importance du mécanisme d'offre négative proposé aux fournisseurs en étudiant les temps de réponse quand oméga a pour valeur 0 et 0.00001. En effet, quand oméga est nul, seules les qualités comptent, entraînant un comportement similaire à RO. Quand oméga vaut 0.00001, les qualités sont encore prépondérantes sur les offres dans le mécanisme de sélection mais le signe des offres intervient, permettant aux pairs d'informer le médiateur qu'ils n'ont pas envie de réaliser la requête proposée.

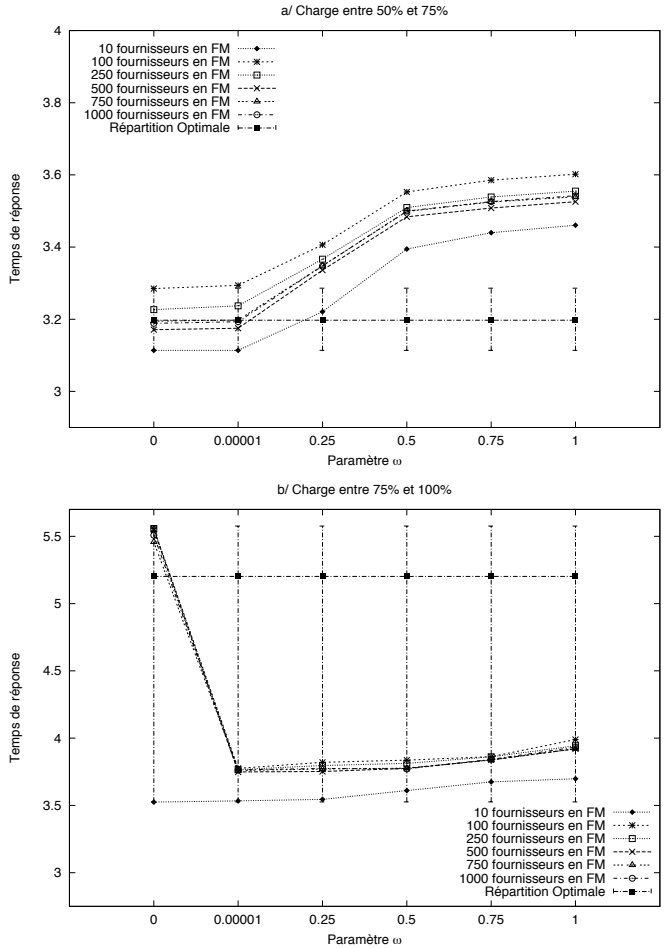


Figure 4.21 – Variation du temps de réponse des pairs en fonction de ω avec automonie (charge entre 50% et 100%)

Ainsi, le temps de réponse de FM passe de 5.52 tops pour $\omega = 0$ à 3.73 tops quand $\omega = 0.00001$: la différence entre les deux est grande.

On constate un comportement assez particulier lorsqu'il y a 10 pairs capables de réaliser la requête, comportement qui se retrouve en FM et en RO. Le temps de réponse de ces 10 pairs est plus faible que pour les autres ensembles de pairs, à hauteur de 3.6 tops en moyenne. En effet, ici, il n'y a pas de pair moins rapide leur permettant de compenser le fait d'être surchargés. Bien sûr, le nombre de requêtes envoyés par l'initiateur est proportionnel au nombre de fournisseurs présents mais lorsque les pairs sont trop chargés, ils se mettent en sommeil ou se désabonnent. Le médiateur se retrouve alors sans fournisseur à proposer à l'initiateur : il renvoie la requête sans réponse. Lorsque les pairs se réactivent, ils ont eu le temps d'effacer leur charge de travail, leur permettant d'être à nouveau opérationnel.

Conclusion

Le choix d'oméga que le médiateur peut faire, influence fortement les temps de réponse obtenus en FM. Cependant, on reste dans le même top de résultat que celui obtenu en RO. Ainsi, l'initiateur ne

s'aperçoit pas de cette différence. Si le temps était représenté de manière réelle, peut être que là, cette différence pourrait porter préjudice à l'initiateur. D'un autre côté, la médiation flexible a tout de même l'avantage de mieux répartir les requêtes au niveau des fournisseurs, permettant à ces derniers d'être satisfaits du processus, à l'inverse de RO où certains fournisseurs n'obtiendront jamais de requêtes. Dans ce cas, ils pourraient décider de partir chez un autre médiateur pour avoir du travail.

Ce critère n'a pas été retenu pour modéliser l'autonomie des pairs mais il aurait tout à fait pu se conjuguer au critère de satisfaction directement liée à la quantité de travail fournie par le médiateur. Dans le cas où l'autonomie est activée pour les pairs, ces derniers peuvent décider de partir d'un processus lorsqu'ils s'estiment mécontents. Vu le fonctionnement de RO et comme nous avons pu le constater sur la figure 4.21, les fournisseurs les plus rapides partent, le médiateur de RO ne respectant pas leur condition de charge. Dans les expérimentations faites ici, ils se réabonnent auprès du même médiateur mais il se pourrait très bien qu'ils décident, si c'était possible, de s'abonner auprès d'un autre médiateur, le médiateur initial ayant ainsi perdu ses meilleurs pairs. Ce phénomène est beaucoup moins prononcé dans la médiation flexible vu que la charge globale apportée par les requêtes de l'initiateur est mieux répartie entre tous. Or, dans un système plus réel, les pairs sont libres et peuvent donc prendre leur automonie à tout moment s'ils ne sont pas satisfaits de ce qui leur ait proposé.

4.4 Conclusion

À travers les différentes expérimentations que nous avons menées, nous avons voulu savoir comment la médiation flexible s'intégrait dans différents environnements sur un tour puis sur plusieurs. Ainsi, nous avons utilisé trois processus ayant chacun leurs spécificités, notamment au niveau du mode de sélection pour réaliser des comparaisons. Ils nous ont servi de point de repère à la mise en œuvre de la médiation flexible. En premier, nous avons réalisé des simulations sur un tour de médiation. Nous avons utilisé un processus simulant un tirage aléatoire sélectionnant n fournisseurs, chacun ayant la même probabilité d'être sélectionné. Ensuite, nous avons mené des expérimentations sur plusieurs tours en mettant en place deux processus dont le contexte d'utilisation était différent. La maximisation de l'utilité globale du système permet l'étude d'un aspect plutôt social. Son médiateur sélectionne n pairs sur la base de la maximisation de la somme des utilités des pairs mais il ne garantit pas que l'utilité de chaque pair soit maximisée. Pour sa part, le processus de répartition optimale de charge a plus un but applicatif de ce qui peut se passer dans un système pair à pair où la charge des fournisseurs est un critère important de choix. Son médiateur choisit les n pairs comme étant ceux garantissant un temps de réponse minimal à l'initiateur.

Les expérimentations sur un tour avaient pour but de visualiser de manière simple l'impact sur l'utilité que peuvent avoir les paramètres principaux de la médiation flexible, à savoir la prise en compte de la qualité par rapport à l'offre via ω et n le nombre de fournisseurs demandés par l'initiateur dans sa requête. L'étude de la variation de l'utilité des pairs en fonction d'oméga nous a permis de constater l'importance que ce paramètre peut avoir sur le comportement des pairs, que ce soit les fournisseurs ou les initiateurs. L'initiateur est nécessairement plus satisfait avec notre médiation vu que le médiateur prend en compte la qualité des réponses qu'il lui fournit dans son calcul de la sélection. En ce qui concerne les fournisseurs qu'ils souhaitent ou non faire la requête, on constate que la réquisition ne les pénalise pas par rapport à leur utilité : ils sont toujours plus contents avec la médiation flexible plutôt qu'avec un simple tirage aléatoire. En mode compétition, nous constatons que les pairs désirant faire la requête préfèrent la médiation flexible pour un oméga faible et le tirage aléatoire pour un oméga plus fort. Dans cette conclusion, nous voyons bien l'importance que peut avoir la qualité vis-à-vis d'un processus n'en

tenant pas du tout compte. Concernant n, nous avons aussi pu constater son importance par le fait que selon si ce nombre est petit ou grand par rapport au nombre de fournisseurs disponibles, il affecte beaucoup le comportement de la médiation flexible lorsque peu de pairs désirent faire la requête. En effet, la réquisition est alors rapidement appliquée, entraînant une participation financière de l'ensemble des pairs à la réquisition des pairs retenus alors qu'ils ne voulaient pas faire la requête. Comme la médiation flexible utilise une facturation alors que le tirage aléatoire non et que ce paramètre intervient dans le calcul de l'utilité des fournisseurs, le fait que peu de pairs souhaitent faire la requête peut être handicapant. Cependant, dans le cas inverse où beaucoup de pairs la désirent, la médiation flexible obtient de meilleurs résultats qu'un tirage aléatoire.

Les expérimentations sur plusieurs tours basées sur la maximisation de l'utilité globale du système ont permis de se rendre compte que le médiateur de la médiation flexible prend en compte aussi bien les intérêts de l'initiateur que ceux des fournisseurs. En effet, d'un côté le processus de maximisation utilisait systématiquement les deux mêmes pairs pour réaliser les requêtes tandis que le médiateur de la médiation flexible alternait sa sélection sur d'autres pairs que les deux meilleurs et permettait ainsi à chacun des pairs d'avoir sa part de travail, même si celle-ci n'était pas égale pour tous : les meilleurs étaient tout de même choisis plus régulièrement que les autres afin de satisfaire l'initiateur en lui assurant une certaine qualité des fournisseurs qui lui étaient proposés.

La comparaison faite avec le processus de répartition optimale de charge sur plusieurs tours désavantageait d'office la médiation flexible, sachant que le critère d'étude sur lequel nous travaillions, à savoir le temps de réponse, était le critère que ce processus devait maximiser. Ces expérimentations ont été tout de même menées mais dans un autre but, à savoir, étudier la mise en œuvre de la médiation flexible dans un contexte pour lequel elle n'était pas initialement destinée et dans lequel, le critère d'étude a été changé (on ne s'intéresse plus ici à l'utilité des pairs). Nous avons tout de même pu constater que lorsque la charge du système était moyenne, la médiation flexible fournissait à tous les pairs, des requêtes, ce qui lui permettait dans le cas d'une augmentation de la charge de mieux supporter ce surplus, par rapport au processus de répartition optimale. De plus, lorsqu'une forte charge est appliquée et dans le cas où les pairs ont la possibilité de quitter le système s'ils sont mécontents, la médiation flexible obtient de meilleurs résultats que la répartition optimale. En effet, cette dernière charge tout d'abord les pairs les plus rapides qui, se retrouvant rapidement saturés quitte le système, laissant le médiateur avec un bombre trop faible de fournisseurs pour assurer la charge du système, ces fournisseurs n'étant pas en plus, les plus rapides.

L'ensemble de ces expérimentations ont ainsi servi à démontrer l'intérêt que la médiation flexible peut avoir à être utilisée, tout du moins dans certains contextes. Nous pourrions ainsi imaginer un super médiateur qui utiliserait un processus à la place d'un autre selon les conditions courantes de l'environnement (nombre de pairs souhaitant faire la requête, favorisation des fournisseurs ou des initiateurs par rapport à oméga, charge du système...).

Conclusion générale

Les travaux présentés dans cette thèse se focalisent sur l'étude des **systèmes à médiateurs de requêtes**. Un médiateur met en relation des initiateurs et des fournisseurs via un processus de médiation. Ce dernier sélectionne un nombre donné de fournisseurs parmi l'ensemble de ceux qui sont capables de faire la requête, afin de répondre à l'initiateur. Le problème que nous cherchons à résoudre dans cette thèse est de prendre en compte à la fois l'intérêt des initiateurs et celui des fournisseurs lors de la réalisation d'une médiation. Afin de préciser le fonctionnement de ce problème, nous avons effectué une comparaison avec cinq travaux que nous avons considérés comme pertinent par rapport à notre problème. Ensuite, nous avons modélisé les systèmes à médiateurs de requêtes avant de définir un processus de médiation particulier nommé **médiation flexible**, répondant au problème. Enfin, nous avons étudié ce processus de manière théorique en examinant les propriétés qu'il vérifie et de manière pratique par l'intermédiaire d'expérimentations.

État de l'art

Notre travail se basant sur la médiation, nous avons tout d'abord introduit les mécanismes d'allocations de requêtes. Ces derniers indiquent le fonctionnement général des mécanismes utilisant des médiateurs, élément central des médiations. Ainsi, nous trouvons les médiateurs de bases de données, les matchmakers/brokers et enfin, le Protocole de Réseau Contractuel (*CNP*).

Ensuite, nous avons étudié le premier point de vue auquel nous nous intéressons, à savoir celui des fournisseurs. Ils expriment leurs intérêts au travers des offres monétaires. Ce paramètre nous entraîne dans le domaine de la microéconomie. Ainsi, nous avons présenté l'ensemble des définitions liées à ce domaine avant de terminer par la conception de mécanismes qui nous est particulièrement utile puisque nous cherchons nous-même à établir un mécanisme de médiation. Dans ce domaine, des propriétés microéconomiques ont été introduites dans le but de définir des comportements que les mécanismes peuvent avoir.

Le point de vue de l'initiateur, quant à lui, est basé sur la qualité des réponses que lui fournit le médiateur. Dans ce cadre, nous avons présenté la notion de confiance dans le but de savoir avec quels pairs, l'initiateur peut lier des relations sans prendre un risque excessif lors de la négociation. La confiance peut être vue sous deux formes : la sécurité du système d'une part et la réputation des pairs d'autre part.

Enfin, après avoir étudié l'ensemble des travaux liés à notre problématique, nous avons retenu cinq travaux [72, 21, 59, 31, 45] pour leur pertinence vis-à-vis de notre problème qui est de prendre en compte à la fois les intérêts des initiateurs et ceux des fournisseurs. Les mécanismes utilisent soit l'offre ou le coût de la requête soit la confiance. Certains combinent les deux simultanément mais la confiance est plus exprimée sur la notion de probabilité d'échec ou d'incertitude. Dans un premier temps, nous avons explicité le fonctionnement de chacun avant de mener une étude comparative entre tous. Le but de cette comparaison est de montrer que de nombreuses variantes permettant de résoudre notre problème existent mais qu'ils ne correspondent pas à ce que nous cherchons à réaliser. En effet, certains sont plus ou moins aboutis et d'autres ne remplissent pas totalement l'ensemble des conditions que nous recherchons telles que garantir à l'initiateur d'avoir le nombre de fournisseurs qu'il a demandé ou encore lui permettre de donner son opinion sur les pairs qui lui sont proposés. De plus, aucun ne permet de

satisfaire simultanément les deux types d'acteurs du système qui nous intéressent, à savoir les initiateurs et les fournisseurs.

Modélisation du système à médiateur de requêtes

La modélisation du système nous a tout d'abord permis d'indiquer plus précisément quel type de processus nous comptions étudier. Nous nous sommes focalisés sur les processus de médiation de requêtes dans lesquels un seul médiateur intervient. Les fournisseurs s'abonnent auprès de lui en déclarant leurs capacités, à savoir les caractéristiques des requêtes qu'ils savent traiter. Ces dernières servent à la phase de présélection (matchmaking) afin de déterminer les fournisseurs capables de réaliser la requête. C'est à partir de ce moment que le processus de médiation en lui-même s'applique. Il a pour but d'établir une **sélection** constituée d'un certain nombre de fournisseurs parmi l'ensemble de ceux qui sont capables de réaliser la requête. Il est également constitué d'une deuxième partie, à savoir la **facturation** que le médiateur calcule. En effet, nous nous sommes concentrés sur des processus utilisant de l'argent (virtuel ou non), comme le font les mécanismes économiques.

Les relations existant entre les différents pairs nous permettent de savoir qui intéragit avec qui et dans quel cadre. Nous avons proposé l'organisation d'un processus de médiation par sphères d'influence. Ces sphères sont au nombre de trois et correspondent au degré d'influence que l'argent, et par conséquent le processus, a sur les pairs. Cette organisation nous permet aussi de voir comment le processus de médiation impacte sur les pairs.

Nous avons ensuite défini l'utilité des pairs, notion utilisée en microéconomie. Elle traduit la satisfaction que les pairs retirent du processus et nous a servi de critère de base à l'étude du comportement des pairs. Les pairs appartenant à la sphère économique, à savoir les médiateurs et les représentants des fournisseurs possèdent une utilité prenant en compte l'aspect monétaire imposé par la monnaie. Les initiateurs et les fournisseurs qui ne connaissent pas la présence de la monnaie, appartiennent aux sphères d'influence directe et d'influence. Leurs utilités reflètent leur satisfaction, en ne se basant que sur les résultats obtenus via la sphère économique sans participer à celle-ci. Les initiateurs s'intéressent à la qualité des réponses qui leur sont fournies ainsi qu'à leur nombre tandis que les fournisseurs se soucient des types de requêtes qu'ils obtiennent, leur nombre ainsi que s'ils voulaient ou non les réaliser.

La médiation flexible

Nous avons ensuite proposé la **médiation flexible** et précisé son algorithme de mise en œuvre ainsi que son architecture d'application. Nous avons également étudié des théorèmes que la médiation flexible était susceptible de posséder.

Le principe de la médiation flexible est de prendre en compte à la fois les intérêts des initiateurs et ceux des fournisseurs. L'initiateur envoie une requête au médiateur. Celui-ci doit lui fournir n fournisseurs parmi l'ensemble des fournisseurs capables de faire la requête, sous réserve qu'il ait à sa disposition un nombre suffisant de pairs (sinon, il lui renvoie la liste complète des pairs capables de traiter la requête). La réalisation de cette **sélection** se fait sur la base des **offres** et des **qualités** des fournisseurs. Dans la littérature, aucun travail ne s'est penché sur cette combinaison. Les offres traduisent l'intérêt qu'ont les fournisseurs à vouloir faire la requête. Elles peuvent être positives ou négatives selon s'ils désirent la traiter ou pas. Le médiateur peut sélectionner des pairs ne souhaitant pas réaliser la requête si le nombre de fournisseurs le désirant n'est pas suffisant. Les qualités correspondent aux attentes de l'initiateur et traduisent l'implication des fournisseurs à exécuter les réponses. Un paramètre important de la médiation

flexible est ω. En effet, il joue le rôle de bouton régulateur dans la prise en compte des qualités et des offres. Ainsi, selon sa valeur, l'une de ces deux données sera plus prise en compte et au travers de cela, l'intérêt d'un des deux types de pairs.

Une fois la sélection réalisée, le médiateur établit une **facturation** pour tous. S'il n'a sélectionné que des pairs désirant faire la requête, seuls ces pairs paient une facture. Ce mode de facturation correspond à une **compétition**. Cependant, comme nous avons laissé la possibilité aux fournisseurs d'exprimer leur volonté de ne pas la réaliser, le médiateur peut être confronté à une situation dans laquelle il n'a pas assez de pairs voulant traiter la requête. Pour compenser cela, nous lui avons apporté la possibilité d'imposer la requête à certains fournisseurs, même s'ils ne souhaitaient pas la traiter : c'est le mode **réquisition**. La sélection est alors composée de pairs désirant ou non faire la requête. Mais, afin de ne pas désavantager les réquisitionnés par rapport aux autres pairs du processus, tous participent à leur imposition en reversant une contribution financière pour les réquisitionnés. Ainsi, le médiateur attribue une facture à chacun, même aux non sélectionnés, facture correspondant au prix du dédommagement financier accordé aux réquisitionnés.

Comme nous l'avons précisé précédemment, les processus étudiés considèrent des offres monétaires. Aussi, nous avons étudié les propriétés de la médiation flexible d'un point de vue microéconomique : à savoir la rationalité individuelle, la Pareto optimalité, l'*incentive compatiblity* et l'équilibre budgétaire. Habituellement, ces propriétés sont étudiées dans un contexte où seul l'argent rentre en ligne de compte. Dans le cas de la médiation flexible, la qualité est un nouveau paramètre qu'il a fallu intégrer afin d'étudier ces propriétés. Pour cette raison, réaliser les démonstrations sur des différentes propriétés n'a pas été aisé. La **Pareto optimalité** permet de garantir que le résultat obtenu par la médiation flexible est bien un des meilleurs possibles puisqu'il n'existe aucun résultat (sélection et facturation) tel qu'un pair ne soit mieux (au niveau de son utilité) tandis que les autres ne sont pas moins bien. Après avoir déterminé les différents cas à examiner, nous pouvons affirmer que la médiation flexible est Pareto optimale vu que sa sélection mais aussi sa facturation le sont. En effet, l'étude des deux parties du résultat est obligatoire afin d'obtenir cette propriété pour notre médiation. La **rationalité individuelle** traduit la volonté qu'ont les pairs à participer au processus au vu de ce qu'ils pourraient obtenir s'ils n'y participaient pas. La médiation flexible vérifie cette propriété en mode compétition mais pas en mode réquisition. En effet, dans ce dernier cas, les pairs qui ne sont pas sélectionnés et qui par conséquent ne voulaient pas faire la requête ne font que payer pour la réquisition des autres et ne touchent rien en contrepartie. Il est alors normal qu'ils soient mécontents par rapport à s'ils étaient restés sans participer. L'**équilibre budgétaire** correspond au fait que tout l'argent en circulation dans le système doit y rester et qu'en plus, lors d'une médiation, les échanges monétaires effectués entre tous soient nuls. La médiation flexible ne respecte pas tout à fait cette propriété, c'est pour cette raison qu'elle est dite **faiblement budgétairement équilibrée**. En effet, l'argent ne quitte pas le système mais par contre, les échanges monétaires ne sont pas nuls : le médiateur peut gagner de l'argent lors d'une médiation. Cependant, même si notre médiation n'est pas strictement budgétairement équilibrée, le médiateur possède un mécanisme de redistribution de ses gains [1] permettant, d'une part qu'il n'amasse pas tout l'argent qui est en circulation et d'autre part, de se rapprocher de cette propriété même si la redistribution ne fait pas partie intégrante du processus de médiation. Enfin, la propriété d'***incentive compatiblity*** incite les pairs à révéler leurs véritables informations privées dans le but d'obtenir de meilleurs résultats. Elle garantit qu'il n'est pas rentable pour des pairs malveillants de fausser le fonctionnement du processus en trichant ou en collaborant. La médiation flexible vérifie cette propriété en compétition et en réquisition pure (aucun pair n'a fait une offre positive). Par contre, elle ne la vérifie pas dans les cas de réquisitions en présence de compétiteurs.

[1] Nous rappelons que l'argent employé est virtuel, ce qui explique que cette redistribution ait un sens.

Nous constatons que la médiation flexible vérifie les propriétés de Pareto optimalité et d'équilibrage faiblement budgétaire. La réquisition nous empêche d'avoir les deux autres, à savoir rationalité individuelle et *incentive compatiblity*. Le soutien financier auquel tout le monde participe pour les réquisitionnés est la cause de ce blocage. D'un côté, ce mécanisme permet de garantir à l'initiateur d'avoir le nombre de réponses qu'il voulait et de l'autre, les fournisseurs ont un comportement loyal envers leurs partenaires réquisitionnés. Le fait de ne pas vérifier ces propriétés met en valeur la loyauté d'un fournisseur envers les autres membres du groupe partant sur la philosophie que la prochaine fois, ce sera peut-être lui le réquisitionné et qu'il sera alors content qu'on l'aide.

La propriété de rationalité individuelle est très importante pour un processus dans le sens que si les pairs n'ont pas de motivation à participer, le processus n'a aucune chance de survivre. Nous avons défini une nouvelle propriété de rationalité individuelle mais cette fois-ci, sur le long terme. La **rationalité individuelle sur le long terme** correspond à une propriété de rationalité individuelle plus faible. Si l'on prend l'exemple de la vie courante, nous ne sommes pas nécessairement satisfaits de tout ce que l'on nous propose mais nous acceptons de réaliser certaines choses car nous savons qu'au final, nous nous y retrouverons. L'idée est que le pair puisse étudier, si besoin est, son passé afin de déterminer si le processus de médiation lui est profitable. En effet, même s'il n'a pas été satisfait sur les dernières médiations, il peut s'avérer que sur la globalité des requêtes que le médiateur lui a proposées, il peut être satisfait. Le passé du pair est stocké dans sa mémoire et représenté par les résultats des médiations le concernant ainsi que l'évaluation qu'il avait fait sur ces requêtes. Ces éléments lui permettent de recalculer son utilité, critère important pour le pair car c'est en faisant la somme de ses utilités passées qu'il arrive à déterminer s'il reste ou non dans le processus.

Validation

Après avoir étudié la médiation flexible d'un point de vue théorique à l'aide des propriétés microéconomiques, nous avons procédé à un certain nombre de simulations pour analyser et mettre en évidence son comportement. Nous voulons vérifier expérimentalement son comportement ainsi que celui des pairs, tout d'abord sur un tour puis sur plusieurs tours.

Les expérimentations sur un tour permettent d'étudier de manière simple le fonctionnement de la médiation flexible. Les expérimentations sur plusieurs tours ont pour but d'observer le comportement de la médiation flexible lorsqu'elle est utilisée à long terme. Dans ce cas, les conditions de fonctionnement environnantes varient à chaque tour de médiation, à savoir les préférences des fournisseurs, leur nombre, etc.

Les différentes validations menées, sur un ou plusieurs tours, nous ont servi à analyser le comportement de la médiation flexible. Afin d'avoir un point de repère, nous avons comparé la médiation flexible à différents processus : un de **tirage aléatoire** sur un tour (le médiateur tire au sort le nombre de fournisseurs demandés par l'initiateur, chacun ayant la même probabilité d'être sélectionné), et pour plusieurs tours, un processus de **maximisation de l'utilité globale du système** (après avoir étudié l'ensemble des utilités espérées des pairs - fournisseurs et initiateurs -, le médiateur choisit les pairs permettant de maximiser la somme globale des utilités de l'ensemble des pairs. Ce processus ne maximise pas nécessairement l'utilité personnelle de chaque pair) et un mécanisme de **répartition optimale de charge** (le médiateur alloue la requête aux fournisseurs qui permettent l'obtention d'un temps de réponse minimal).

Lors des expérimentations sur un tour, nous avons observé l'évolution du comportement de la médiation flexible lorsque nous faisions varier ses deux principaux paramètres, à savoir ω qui correspond à

la manière dont est prise en compte la qualité vis-à-vis de l'offre et n le nombre de pairs demandés par l'initiateur. L'analyse faite sur la variation de ω symbolise la flexibilité de la médiation puisque selon sa valeur, se sont soit les initiateurs soit les fournisseurs qui sont favorisés : le médiateur devra donc gérer au mieux ce paramètre. Ensuite, la variation du nombre de fournisseurs sélectionnés montre la sensibilité que ce paramètre apporte à la médiation flexible. En effet, il influe directement sur le mode de facturation mis en place par le médiateur et comme la compétition et la réquisition ne satisfont pas de la même manière les pairs, ces derniers sont plus ou moins fortement touchés, d'autant plus s'ils désiraient ou non réaliser la requête.

Pour l'étude sur plusieurs tours, il ressort que la médiation flexible peut obtenir de meilleurs résultats dans les comparaisons effectuées avec le processus de maximisation de l'utilité qui ne prend pas en compte le point de vue des initiateurs, à savoir la qualité. L'intérêt de prendre en compte ce critère dans la sélection apparaît clairement comme bénéfique pour les initiateurs de la médiation flexible. À l'inverse, dans le cas de la répartition optimale de charge, seule la qualité est prise en compte dans le mode de sélection car le critère d'étude est le temps de réponse, qui intéresse directement les initiateurs. Nous constatons que la médiation flexible prend moins en compte l'intérêt de l'initiateur que la répartition optimale dans sa sélection mais que contrairement à cette dernière, elle s'intéresse également à l'intérêt des fournisseurs. En effet, elle n'obtient pas un temps de réponse aussi bon que la répartition optimale mais elle permet à tous les fournisseurs d'obtenir des requêtes. Cette constatation est importante dans le cas où l'environnement autorise les pairs à quitter le système librement car en cas d'augmentation de la charge du système, la répartition optimale ne dispose plus d'assez de pairs pour réaliser les requêtes tandis que la médiation flexible oui. En effet, elle a gardé l'ensemble de ses fournisseurs puisqu'elle attribue des requêtes régulièrement à tous, les meilleurs en ayant tout de même plus que les moins bons.

Perspectives

Il existe différentes pistes possibles afin de continuer les travaux présentés dans cette thèse.

Tout d'abord, la continuation la plus importante est d'étudier expérimentalement la propriété de rationalité individuelle à long terme afin de déterminer si la médiation flexible vérifie cette propriété. En effet, après avoir défini cette propriété théoriquement, il n'y a qu'au travers de simulations que nous pourrons voir si l'intuition que nous avons sur la médiation flexible et sur cette propriété existe réellement, d'autant que cette propriété est très importante pour la viabilité de notre médiation. La médiation flexible ne vérifie pas la propriété d'*incentive compatiblity* dans le cadre d'une réquisition en présence de compétiteurs. Il est souhaitable de considérer une parade à ce manquement, dans un style similaire à ce qui a été fait pour la rationalité individuelle ou autrement.

Un second aspect à développer est une étude plus détaillée de la qualité. En effet, nous avons abordé dans ce manuscrit la qualité de manière non formelle. Il pourrait être intéressant de partir sur une étude plus précise de la définition de la qualité afin de voir l'influence qu'elle peut avoir sur le comportement des pairs, en particulier si nous considérons qu'elle est définie sur plusieurs critères.

Enfin, la dernière perspective est d'étudier la médiation flexible dans un contexte d'auto-organisation des pairs et de voir si elle autorise des phénomènes intéressants. Nous entendons par le terme d'auto-organisation que des regroupements de pairs peuvent apparaître dans le système sans qu'il n'y ait eu concertation avant car ces pairs ont des motivations ou des intérêts similaires. Par exemple, des fournisseurs produisent des nombres pairs, d'autres des nombres impairs. L'idée est de voir si, en utilisant deux médiateurs (ou plus), les pairs s'organisent de telle manière que les pairs d'un même groupe soient abonnés à un même médiateur et les autres au second médiateur.

Bibliographie

[1] Alfarez ABDUL-RAHMAN et Stephen HAILES.
A distributed trust model.
Dans *NSPW '97: Proceedings of the 1997 workshop on New security paradigms*, pages 48–60. ACM Press, 1997.

[2] Karl ABERER.
P-grid: A self-organizing access structure for p2p information systems.
Dans *CooplS '01: Proceedings of the 9th International Conference on Cooperative Information Systems*, pages 179–194, London, UK, 2001. Springer-Verlag.

[3] Karl ABERER et Zoran DESPOTOVIC.
Managing trust in a peer-2-peer information system.
Dans *CIKM '01: Proceedings of the tenth international conference on Information and knowledge management*, pages 310–317, New York, NY, USA, 2001. ACM Press.

[4] S. ADALI, K. S. CANDAN, Y. PAPAKONSTANTINOU et V. S. SUBRAHMANIAN.
Query caching and optimization in distributed mediator systems.
Dans *SIGMOD '96: Proceedings of the 1996 ACM SIGMOD international conference on Management of data*, pages 137–146, New York, NY, USA, 1996. ACM Press.

[5] Donovan ARTZ et Yolanda GIL.
A survey of trust in computer science and the semantic web.
Journal of Web Semantics, 2007.
à paraître.

[6] Emilio BARUCCI.
Heterogeneous beliefs and learning in forward looking economic models.
Journal of Evolutionary Economics, 9(4):453–464, 1999.

[7] R. J. BAYARDO, JR., W. BOHRER, R. BRICE, A. CICHOCKI, J. FOWLER, A. HELAL, V. KASHYAP, T. KSIEZYK, G. MARTIN, M. NODINE, M. RASHID, M. RUSINKIEWICZ, R. SHEA, C. UNNIKRISHNAN, A. UNRUH et D. WOELK.
InfoSleuth: Agent-based semantic integration of information in open and dynamic environments.
Dans *Proceedings of the ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, volume 26,2, pages 195–206, New York, 13–15 1997. ACM Press.

[8] Antoine BILLOT.
Social consistency and individual rationality.
PSE Working Papers 2007-14, PSE (Ecole normale supérieure), 2007.

[9] Matt BLAZE, Joan FEIGENBAUM, John IOANNIDIS et Angelos D. KEROMYTIS.
The role of trust management in distributed systems security.
Secure Internet programming: security issues for mobile and distributed objects, pages 185–210, 1999.

[10] Matt BLAZE, Joan FEIGENBAUM et Jack LACY.
Decentralized trust management.
Dans *SP '96: Proceedings of the 1996 IEEE Symposium on Security and Privacy*, page 164. IEEE Computer Society, 1996.

[11] Liad BLUMROSEN et Noam NISAN.
Combinatorial Auctions, chapitre Part II, Chapter 11.
Cambridge University Press, 2007.

[12] William A. BROCK et Cars H. HOMMES.
A rational route to randomness.
Econometrica, 65(5):1059–1096, September 1997.

[13] James M. BUCHANAN et Gordon TULLOCK.
The Calculus of Consent: Logical Foundations of Constitutional Democracy (Ann Arbor Paperbacks).
University of Michigan Press, March 1962.

[14] Peter J. BURKE et Louis N. GRAY.
Where forward-looking and backward-looking models meet.
Comput. Math. Organ. Theory, 5(2):75–95, 1999.

[15] Anthony CASSANDRA, Damith CHANDRASEKARA et Marian NODINE.
Capability-based agent matchmaking.
Dans *Proceedings of the Fourth International Conference on Autonomous Agents*, pages 201–202, Barcelona, Catalonia, Spain, 2000. ACM Press.

[16] Yeon-Koo CHE.
Design competition through multidimensional auctions.
RAND Journal of Economics, 24(4):668–680, Winter 1993.

[17] Yang-Hua CHU, Joan FEIGENBAUM, Brian LAMACCHIA, Paul RESNICK et Martin STRAUSS.
Referee: trust management for web applications.
World Wide Web Journal, 2(3):127–139, 1997.

[18] Edward H. CLARKE.
Multipart pricing of public goods.
Public Choice, 2:19–33, 1971.

[19] Cécile CLERGEAU.
Microéconomie - 1. Théorie du consommateur et de la demande.
Seuil, 1998.

[20] Ernesto DAMIANI, De Capitani di VIMERCATI, Stefano PARABOSCHI, Pierangela SAMARATI et Fabio VIOLANTE.
A reputation-based approach for choosing reliable resources in peer-to-peer networks.
Dans *CCS '02: Proceedings of the 9th ACM conference on Computer and communications security*, pages 207–216. ACM Press, 2002.

[21] Rajdeep DASH, Sarvapali RAMCHURN et Nicholas R. JENNINGS.
Trust-based mechanism design.
Dans *AAMAS-2004 – Proceedings of the Third International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi Agent Systems*, 2004.

[22] Esther DAVID, Rina AZOULAY-SCHWARTZ et Sarit KRAUS.
Protocols and strategies for automated multi-attribute auctions.
Dans *AAMAS '02: Proceedings of the first international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems*, pages 77–85, New York, NY, USA, 2002. ACM Press.

[23] Sven de VRIES et Rakesh V. VOHRA.
Combinatorial auctions: A survey.
INFORMS Journal on Computing, 15(3):284–309, 2003.

[24] Keith DECKER, Katia SYCARA et Mike WILLIAMSON.
Middle-agents for the internet.
Dans *Proceedings of the 15th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'97)*, Nagoya, Japan, 1997. Morgan Kaufmann.

[25] Keith DECKER, Mike WILLIAMSON et Katia SYCARA.
Matchmaking and brokering, 1996.
In Proceedings of the Second International Conference in Multi-Agent Systems (ICMAS'96), Kyoto, Japan.

[26] Andy DENIS.
Collective and individual rationality: Robert malthus's heterodox theodicy.
Method and hist of econ thought, EconWPA, 2003.

[27] Vente en ligne EBAY.
http://www.ebay.fr/.

[28] Eric S. Maskin et JOHN G. RILEY.
The economics of missing markets, information and games, chapitre Optimal Multi-Unit Auctions, pages 312–335.
Oxford University Press, Clarendon Press, 1989.

[29] Dieter FENSEL, Frank van HARMELEN, Ian HORROCKS, Deborah L. MCGUINNESS et Peter F. PATEL-SCHNEIDER.
Oil: An ontology infrastructure for the semantic web.
IEEE Intelligent Systems, 16(2):38–45, 2001.

[30] FIPA.
Site de la foundation for intelligent physical agents.
http://www.fipa.org/spec/index.html, 1997.

[31] Alexander GOROBETS et Bart NOOTEBOOM.
Agent based computational model of trust.
Rapport technique, Erasmus Research Institute of Management (ERIM), RSM Erasmus University, janvier 2005.

[32] Tyrone GRANDISON et Morris SLOMAN.
A Survey of Trust in Internet Applications.
IEEE Communications Surveys and Tutorials, 3(4), September 2000.

[33] Theodore GROVES.
Incentives in Teams.
Econometrica, 41:617–631, 1973.

[34] Alain HAURIE et Michel C. DELFOUR.
Individual and collective rationality in a dynamic pareto equilibrium.
Journal of Optimization Theory and Applications, 13(3):290–302, 1974.

[35] Roslan ISMAIL et Audun JØSANG.
The beta reputation system.
Dans *Proceedings of the 15th Bled Conference on Electronic Commerce*, 2002.

[36] Sara JONES.
Trust-ec: Requirements for trust and confidence in e-commerce.
Rapport technique, European Commission, Joint Research Centre (JRC), 1999.

[37] Audun JØSANG et Simon POPE.

Semantic constraints for trust transitivity.
Dans *APCCM '05: Proceedings of the 2nd Asia-Pacific conference on Conceptual modelling*, pages 59–68. Australian Computer Society, Inc., 2005.

[38] Alan KIRMAN.
The structure of economic interaction: Individual and collective. rationality.
Rapport technique, GREQAM-IDEP. EHESS and Universite d'Aix-Marseille III, 2003.

[39] Matthias KLUSCH et Katia SYCARA.
Brokering and matchmaking for coordination of agent societies: a survey.
pages 197–224, 2001.

[40] David M. KREPS.
A Course in Microeconomic Theory.
Princeton University Press, February 1990.

[41] P. LAMARRE, Sandra LEMP et S. CAZALENS.
Une procédure de médiation équitable pareto optimale.
Dans *RSTI/hors série*, volume JFSMA/2003, pages 283–295, 2003.

[42] Philippe LAMARRE, Sylvie CAZALENS, Sandra LEMP et Patrick VALDURIEZ.
A flexible mediation process for large distributed information systems.
Dans Zahir Tari ROBERT MEERSMAN, réd., *On the Move to Meaningful Internet Systems 2004: CoopIs, DOA, ODBASE*, volume 3291 de *LNCS*. Springer, 2004.

[43] Philippe LAMARRE, Sandra LEMP, Sylvie CAZALENS et Patrick VALDURIEZ.
A flexible mediation process for large distributed information systems.
International Journal of Cooperative Information Systems, *juin* 2007.

[44] Seungjoon LEE, Rob SHERWOOD et Bobby BHATTACHARJEE.
Cooperative peer groups in nice.
Dans *INFOCOM 2003. Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. IEEE*, volume 2, pages 1272–1282 vol.2, 2003.

[45] Anton LIKHODEDOV et Tuomas SANDHOLM.
Auction mechanism for optimally trading off revenue and efficiency.
Dans *EC '03: Proceedings of the 4th ACM conference on Electronic commerce*, pages 212–213, New York, NY, USA, 2003. ACM Press.

[46] Niklas LUHMANN.
Trust And Power.
John Wiley & Sons Inc, 1979.

[47] Michael W. MACY et Robert WILLER.
From factors to actors: computational sociology and agent-based modeling.
Annual Review of Sociology, 28:143–166, 2002.

[48] Andreu MAS-COLELL, Michael D. WHINSTON et Jerry R. GREEN.
Microeconomic Theory.
Oxford University Press, June 1995.

[49] Lik MUI, Mojdeh MOHTASHEMI et Ari HALBERSTADT.
A computation model of trust and reputation.
Dans *Proceedings of 35th Hawaii International Conference on System Science (HICSS)*.

[50] Roger B. MYERSON.
Optimal auction design.
Mathematics of Operations Research, (1):58–73.

[51] John F. NASH.
Equilibrium points in n-person games.
Proceedings of National Academy of Sciences (NAS), 36:pages 48–49, 1950.

[52] Noam NISAN.
Introduction to Mechanism Design (for Computer Scientists), chapitre Part II, Chapter 9.
Cambridge University Press, 2007.

[53] Noam NISAN et Amir RONEN.
Algorithmic mechanism design.
Games and Economic Behavior, 35:166–196, 2001.

[54] Marian H. NODINE, Jerry FOWLER, Tomasz KSIEZYK, Brad PERRY, Malcolm TAYLOR et Amy UNRUH.
Active information gathering in infosleuth.
International Journal of Cooperative Information Systems, 9(1-2).

[55] Vilfredo PARETO.
Manuel d'Economie Politique.
Marcel Giard, Paris, 1909.

[56] David C. PARKES.
Iterative Combinatorial Auctions: Achieving Economic and Computational Efficiency.
Thèse de Doctorat, Department of Computer and Information Science, University of Pennsylvania, May 2001.

[57] Klemperer PAUL.
Auction theory: A guide to the literature.
Journal of Economic Surveys, 13(3):227–86, 1999.

[58] Trond PETERSEN.
Individual, collective, and systems rationality in work groups: Dilemmas and solutions.
Institute of industrial relations, working paper series, UC Berkeley, 1994.

[59] Ryan PORTER, Amir RONEN, Yoav SHOHAM et Moshe TENNENHOLTZ.
Mechanism design with execution uncertainty.
Dans *UAI-02*, 2002.

[60] Ryan PORTER, Yoav SHOHAM et Moshe TENNENHOLTZ.
Fair imposition.
Journal of Economic Theory, 118(2):209–228, 2004.

[61] RDF.
http://www.w3.org/rdf/.

[62] Stuart RUSSELL et Peter NORVIG.
Artificial Intelligence: A Modern Approach.
Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 2nd edition édition, 2003.

[63] Jordi SABATER et Carles SIERRA.
Regret: reputation in gregarious societies.
Dans *AGENTS '01: Proceedings of the fifth international conference on Autonomous agents*, pages 194–195, New York, NY, USA, 2001. ACM Press.

[64] Jordi SABATER et Carles SIERRA.
Social regret, a reputation model based on social relations.
SIGecom Exch., 3(1):44–56, 2002.

[65] Tuomas SANDHOLM.
An implementation of the contract net protocol based on marginal cost calculations.
Dans *Proceedings of the Eleventh National Conference on Artificial Intelligence (AAAI)*, pages 256–262, 1993.

[66] Tuomas W. SANDHOLM.
Multiagent Systems, a modern approach to Distributed Artificial Intelligence, chapitre Distributed Rational Decision Making.
The MIT Press, 2001.

[67] Yoav SHOHAM et Moshe TENNENHOLTZ.
Fair imposition.
Dans *Seventeenth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'01)*. Morgan Kaufmann, 2001.

[68] SIMJAVA.
http://www.dcs.ed.ac.uk/home/hase/simjava.

[69] Reid G. SMITH.
The contract net protocol: High-level communication and control in a distributed problem solver.
IEEE Trans. Computers, 29(12):1104–1113, 1980.

[70] Reid G. SMITH et Randall DAVIS.
Frameworks for cooperation in distributed problem solving.
IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, 11(1):61–70, 1981.

[71] Michael STONEBRAKER, Paul M. AOKI et Robert DEVINE.
Mariposa: A new architecture for distributed data.
Rapport technique, Berkeley, CA, USA, 1993.

[72] Michael STONEBRAKER, Robert DEVINE, Marcel KORNACKER, Witold LITWIN, Avi PFEFFER, Adam SAH et Carl STAELIN.
An economic paradigm for query processing and data migration in mariposa.
Dans *PDIS '94: Proceedings of the third international conference on on Parallel and distributed information systems*, pages 58–68, Los Alamitos, CA, USA, 1994. IEEE Computer Society Press.

[73] Girish SURYANARAYANA et Richard N. TAYLOR.
A survey of trust management and resource discovery technologies in peer-to-peer applications.
Rapport technique, Institute for Software Research, University of California,, 2004.

[74] Katia P. SYCARA, Matthias KLUSCH, Seth WIDOFF et Jianguo LU.
Dynamic service matchmaking among agents in open information environments.
SIGMOD Record, 28(1):47–53, 1999.

[75] Katia P. SYCARA, Seth WIDOFF, Matthias KLUSCH et Jianguo LU.
Larks: Dynamic matchmaking among heterogeneous software agents in cyberspace.
Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, 5(2):173–203, 2002.

[76] Anthony TOMASIC, Louiqa RASCHID et Patrick VALDURIEZ.
Scaling access to heterogeneous data sources with disco.
IEEE Trans. on Knowledge and Data Engineering, 10(5), 1998.

[77] Hal R. VARIAN et Jeffrey K. MACKIE-MASON.
Generalized vickrey auctions.
Rapport technique, University of Michigan, Ann Arbor, 7 1994.

[78] William VICKREY.
Counterspeculation, auctions, and competitive sealed tenders.
The Journal of Finance, 16(1):8–37, 1961.

[79] John VON NEUMANN et Oskar MORGENSTERN.
Theory of games and economic behavior.
Princeton University Press, Princeton, 1944.
Second edition in 1947, third in 1954.

[80] Nir VULKAN et Nicholas R. JENNINGS.
Efficient mechanisms for the supply of services in multi-agent environments.
Dans *ICE '98: Proceedings of the first international conference on Information and computation economies*, pages 1–10, New York, NY, USA, 1998. ACM Press.

[81] Gerhard WICKLER.
Using Expressive and Flexible Action Representations to Reason about Capabilities for Intelligent Agent Cooperation.
Thèse de Doctorat, Université d'Edinburgh, 1999.

[82] Gio WIEDERHOLD.
Mediators in the architecture of future information systems.
IEEE Computer, 25(3), 1992.

[83] WIKIPEDIA.
http://en.wikipedia.org/.

[84] Elmar WOLFSTETTER.
Auctions: An introduction.
Journal of Economic Surveys, 10:367–420, 1996.

[85] XOL.
http://xml.coverpages.org/xol.html.

[86] Ramana YERNENI, Chen LI, Hector GARCIA-MOLINA et Jeffrey ULLMAN.
Computing capabilities of mediators.
Dans *SIGMOD '99: Proceedings of the 1999 ACM SIGMOD international conference on Management of data*, pages 443–454, New York, NY, USA, 1999. ACM Press.

[87] Murat YILDIZOGLU.
Cours de microéconomie.
http://yildizoglu.u-bordeaux4.fr/.

[88] Zili ZHANG et Chengqi ZHANG.
An improvement to matchmaking algorithms for middle agents.
Dans *AAMAS '02: Proceedings of the first international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems*, pages 1340–1347, New York, NY, USA, 2002. ACM Press.

[89] Tamer ÖZSU et Patrick VALDURIEZ.
Handbook of Computer Science and Engineering, chapitre Distributed and Parallel Database Systems.
CRC Press, 2nd édition, 2004.

Liste des tableaux

– *Corps du document* —

1.1 Types de médiateurs selon la confidentialité des préférences et des capacités [24] avec I l'initiateur de requêtes, M le médiateur, F le fournisseur . . . 8
1.2 Exemple de matrice . . . 19
1.3 Élimination des stratégies dominées . . . 22
1.4 Dilemme du prisonnier . . . 22
1.5 Exemple d'utilisation de la vente aux enchères Vickrey simple et généralisée . . . 28
1.6 Entrées et sorties des mécanismes . . . 44
1.7 Fonctionnalités offertes aux initiateurs de requêtes . . . 45
1.8 Caractéristiques des fournisseurs . . . 47

2.1 Vérification de l'utilité du fournisseur . . . 63
2.2 Exemple 1 : $req.n = 1$ pour la requête req . . . 63
2.3 Exemple 2 : $n = 3$ pour la requête req . . . 63

3.1 Exemple de médiations avec $\omega = 0.6$ et $\varepsilon = 1$ . . . 76
3.2 Exemples de gain du médiateur de la médiation flexible . . . 82
3.3 Comparaison des entrées et sorties des mécanismes . . . 83
3.4 Comparaison des fonctionnalités offertes aux initiateurs de requêtes . . . 84
3.5 Comparaison des possibilités offertes aux fournisseurs . . . 85
3.6 Cas possibles en compétition . . . 105

4.1 Caractéristiques des fournisseurs . . . 150

Liste des figures

— *Corps du document* —

1.1 Architecture de référence DARPA I3 . . . 6
1.2 Fonctionnement d'un matchmaker et d'un broker . . . 9
1.3 FIPA Contract Net Protocol . . . 11
1.4 Courbe d'indifférence . . . 16
1.5 Courbe d'indifférence avec contrainte budgétaire . . . 17
1.6 Exemple d'arbre . . . 20
1.7 Module d'authentification de PolicyMaker . . . 34
1.8 Différentes phases de XREP . . . 36
1.9 Fonctionnement du mécanisme "système de réputation béta" . . . 36
1.10 Exemple de fonctionnement de P-Grid . . . 37

2.1 Le système . . . 51
2.2 Zones d'influence d'une monnaie . . . 56
2.3 Fonctionnement des sphères . . . 59
2.4 Des préférences à l'offre . . . 60

3.1 Architecture du système . . . 68
3.2 Architecture du médiateur . . . 70
3.3 Allocations réalisées en compétition dans le cas 1.(a).i.B . . . 97
3.4 Allocations réalisées en réquisition pure dans le cas 2.(a).ii.B . . . 98
3.5 Allocations réalisées en réquisition pure dans le cas 2.(b).i.B . . . 99
3.6 Allocations réalisées en réquisition avec compétiteurs dans le cas 2.(a).i.B.(**).(++) . . . 101
3.7 Allocations réalisées en réquisition avec compétiteurs dans le cas 2.(a).ii.A.(*) . . . 102
3.8 Allocations réalisées en réquisition avec compétiteurs dans le cas 2.(a).ii.B.(**) . . . 102
3.9 Allocations réalisées en réquisition avec compétiteurs dans le cas 2.(b).i.B.(**) . . . 103
3.10 Agencement de la mémoire du pair i dans l'exemple 3.1 sur la l-Rationalité Individuelle . . . 112
3.11 Mémoire du pair quand $u_i^G \geq u_i^R \geq 0$ . . . 113
3.12 Mémoire du pair quand $u_i^R < 0$ . . . 114

4.1 Organisation du système . . . 118
4.2 Diagramme de classes du programme de simulation . . . 119
4.3 Variation de l'utilité des pairs en fonction d'oméga en compétition pour un ratio $\frac{n}{N}$ moyen . . . 123
4.4 Variation de l'utilité des pairs en fonction d'oméga en compétition pour un ratio $\frac{n}{N}$ fort . . . 125
4.5 Variation de l'utilité des pairs en fonction d'oméga en compétition pour un ratio $\frac{n}{N}$ faible . . . 127
4.6 Variation de l'utilité des pairs en fonction d'oméga en réquisition pour un ratio $\frac{n}{N}$ moyen . . . 129
4.7 Variation de l'utilité des pairs en fonction d'oméga en réquisition pour un ratio $\frac{n}{N}$ fort . . . 131

4.8 Variation de l'utilité des pairs en fonction d'oméga en réquisition pour un ratio $\frac{n}{N}$ faible . . 133
4.9 Variation de l'utilité des pairs en fonction de n pour un ratio $\frac{N^+}{N}$ fort 136
4.10 Variation de l'utilité des pairs en fonction de n pour un ratio $\frac{N^+}{N}$ moyen 138
4.11 Variation de l'utilité des pairs en fonction de n pour un ratio $\frac{N^+}{N}$ faible 140
4.12 Protocole d'échange des messages pour la réalisation complète d'une requête 144
4.13 Évaluation de la qualité par l'initiateur 144
4.14 Recouvrement du solde du représentant lors de son désabonnement 146
4.15 Variation de la différence des sommes des utilités des fournisseurs entre FM et MAX en fonction du nombre de requêtes 151
4.16 Variation de la différence des sommes des utilités de l'initiateur entre FM et MAX en fonction du nombre de requêtes 152
4.17 Variation du temps de réponse moyen des pairs en fonction de la charge du système 154
4.18 Variation du temps de réponse moyen des pairs en fonction de ω sans automonie (charge entre 0% et 50%) 157
4.19 Variation du temps de réponse moyen des pairs en fonction de ω sans automonie (charge entre 50% et 100%) 158
4.20 Variation du temps de réponse des pairs en fonction de ω avec automonie (charge entre 0% et 50%) 159
4.21 Variation du temps de réponse des pairs en fonction de ω avec automonie (charge entre 50% et 100%) 160

Table des matières

— Corps du document —

Introduction **1**

1 Etat de l'art **5**
1.1 Mécanismes d'allocation de requêtes avec déclarations de capacités ou schémas 5
1.1.1 Médiateurs et intégrateurs de données dans les bases de données 5
1.1.2 Matchmaking, brokering et intégration de services 8
1.1.3 Protocole réseau contractuel *(Contract Net Protocol)* 10
1.2 Approches "économiques" 13
1.2.1 Économie 13
1.2.2 Macroéconomie 14
1.2.3 Microéconomie 14
1.2.4 Théorie des jeux 18
1.2.5 Conception de mécanismes 23
1.2.6 Présentation de mécanismes économiques 27
1.3 Approches basées sur la prise en compte de la confiance *(trust)* 31
1.3.1 Définitions existantes 31
1.3.2 Caractéristiques principales 32
1.3.3 Deux aspects : sécurité vs réputation 33
1.4 Comparaison de différents mécanismes utilisant offre/coût ou confiance 38
1.4.1 Plateforme Mariposa 38
1.4.2 Conception de mécanisme basé sur la confiance 40
1.4.3 Conception de mécanisme dans un contexte incertain 41
1.4.4 Modèle agents basé sur la confiance 41
1.4.5 Mécanisme de vente aux enchères permettant une efficacité et des revenus optimaux . . . 42
1.4.6 Étude comparative 43
1.5 Conclusion 47

2 Représentation des systèmes à médiateurs de requêtes **49**
2.1 Organisation d'un système à médiateurs de requêtes 49
2.1.1 Les constituants du système 51
2.1.2 Définition d'un processus de médiation 53
2.1.3 Définition des zones d'influence d'une monnaie 55
2.1.4 Appartenance des pairs aux différentes zones d'influence 57
2.2 Les utilités des pairs dans un système à médiateur unique 59
2.2.1 Utilité du représentant du fournisseur 60
2.2.2 Utilité du médiateur 61
2.2.3 Utilité du fournisseur d'informations 62
2.2.4 Utilité de l'initiateur 63

2.2.5 Utilité de non participation d'un pair à une médiation 64
2.2.6 Utilité globale d'un pair pour un ensemble de médiations 64
2.3 Conclusion 65

3 La médiation flexible 67
3.1 Choix d'architecture du système 67
3.1.1 Rôles particuliers des acteurs 68
3.1.2 Les zones d'influence dans la médiation flexible 69
3.2 Architecture du médiateur 70
3.3 Allocation d'une requête 72
3.4 Facturation d'une requête 75
3.4.1 Offre théorique 76
3.4.2 Facturation en compétition 77
3.4.3 Facturation en réquisition 78
3.4.4 Facturation globale 79
3.5 Comparaison avec d'autres mécanismes 82
3.5.1 Entrées et sorties des mécanismes 82
3.5.2 Fonctionnalités offertes aux initiateurs de requêtes 82
3.5.3 Possibilités offertes aux fournisseurs dans les mécanismes étudiés 84
3.6 Propriétés de la médiation flexible 85
3.6.1 Propriétés sur un tour 86
3.6.2 Propriétés sur le long terme 108
3.7 Conclusion 115

4 Implémentations et expérimentations 117
4.1 Mise en œuvre des simulations de la médiation flexible 117
4.2 Analyse du comportement de la médiation flexible sur un tour : comparaison avec un processus de tirage aléaoire 120
4.2.1 Choix des valeurs des paramètres 121
4.2.2 Analyse des variations de l'utilité des pairs en fonction d'oméga 121
4.2.3 Analyse des variations de l'utilité en fonction du nombre de fournisseurs à sélectionner . . 134
4.2.4 Conclusions et limites de l'évaluation sur un tour 141
4.3 Analyse du comportement de la médiation flexible sur plusieurs tours 142
4.3.1 Compléments sur la mise en place de la simulation de la médiation flexible 142
4.3.2 Analyse et comparaison de la médiation flexible avec un processus de maximisation de l'utilité globale du système 148
4.3.3 Analyse et comparaison de la médiation flexible avec un processus de répartition optimale de charge 152
4.4 Conclusion 161

Conclusion générale 163

— *Pages annexées* —

Bibliographie 169

Liste des tableaux **177**

Liste des figures **179**

Table des matières **181**

Index alphabétique **185**

Index alphabétique

A

accointances 52
Agent rationnel 15, 18
allocation 53, 72

B

brokering 8

C

capacité de traitement 50, 60
capacités 8, 50, 70
charge 60
compétition 165
conception de mécanismes 23
confiance 31
courbes d'indifférence 15

D

dilemme du prisonnier 21

E

économie 13
efficacité 25
équilibre budgétaire 107
équilibre de Nash 22
évaluation 24, 60

F

facturation 24, 53, 72
faible équilibre budgétaire 108
fonction de choix social 25
fournisseur d'informations 50, 68

I

incentive compatibility 25, 95
initiateur de requêtes 49, 68

J

jeu 19
- coopératif 20
- dynamique 20
- non coopératif 20
- simultané 20
- statique 20
- séquentiel 20
- à information complète 21
- à information imcomplète 21
- à information imparfaite 20
- à information parfaite 20
- à somme non nulle 21
- à somme nulle 21

L

liens 52

M

macroéconomie 14
matchmaking 8
microéconomie 14
monnaie 52
médiateur 5, 50, 68, 70
médiation flexible 67

O

offre 59, 67, 71
offre théorique 75

P

paiement
- global 77
- partiel 77

pair intermédiaire 50
Pareto optimalité 26, 86
processus de médiation 50, 53
profit 18
protocole réseau contractuel 10
préférences 50, 60
- type 60

Q

qualité 50, 67, 71

R

rationalité individuelle 26, 104, 110

sur le long terme 108
relation d'association 52
représentant du fournisseur 57, 68
réputation 34
réquisition 30, 67, 165

S

solde monétaire 57
sphère 55
d'influence 55, 69
d'influence directe 55, 69
économique 55, 69
stratégie 21
dominante 21
dominée 21
système 53
systèmes à médiateurs de requêtes 49
sélection 72
séquence
de médiations 54
de médiations compatibles 55
de médiations utiles 55

T

théorie du consommateur 14

U

utilité 15, 58
fonction d' 19
cardinale 15
de l'initiateur 63
de non participation 64
du fournisseur 62
du médiateur 61
du représentant 59
globale 64
ordinale 15

V

vente aux enchères 27
au premier prix, cachetée 27
anglaise 27
classique 27
hollandaise 27
inversée 27
multi-critères 29
Vickrey 28

Médiation flexible dans un système pair à pair

Sandra LEMP

Résumé

Nous nous intéressons aux systèmes distribués d'information ouverts, mettant en œuvre un grand nombre de sources d'informations autonomes et hétérogènes, tels que les systèmes pairs à pairs. Dans un tel contexte, un pair peut jouer à la fois le rôle d'initiateur de requêtes et celui de fournisseur d'informations. Le rôle du médiateur consiste à faire le lien entre initiateurs et fournisseurs, en allouant les requêtes qui lui sont confiées aux fournisseurs qui lui paraissent les plus pertinents. Les attentes des initiateurs et celles des fournisseurs peuvent être antagonistes : les premiers préférant des réponses pertinentes, les seconds privilégiant de traiter certains types de requêtes. Souvent, les médiateurs permettent de prendre en compte qu'un seul des deux points de vue.

Cette thèse propose un mécanisme de médiation flexible qui permet de considérer les deux points de vue en même temps, de façon à assurer la satisfaction de tous les acteurs du système. D'un côté, les fournisseurs font des *offres monétaires* représentant leur intérêt pour la requête. De l'autre, les préférences des initiateurs pour les fournisseurs sont prises en compte au travers de la notion de *qualité*. Ces deux critères sont la base de la phase de sélection des fournisseurs de notre médiation. De plus, la médiation flexible propose la réquisition de fournisseurs lorsqu'ils ne veulent pas traiter une requête. Nous étudions notre médiation d'un point de vue théorique tout d'abord, en considérant des propriétés usuelles de microéconomie et en proposant une nouvelle définition pour prendre en compte la satisfaction à long terme des participants (initiateurs et fournisseurs). L'étude théorique est complétée par un ensemble de simulations dans différents contextes qui permettent de la comparer à d'autres mécanismes d'allocation de requêtes. Les résultats montrent que la médiation flexible assure généralement la satisfaction sur le long terme des participants et permettent de déterminer les conditions dans lesquelles il est préférable de l'utiliser.

Mots-clés : Systèmes d'information distribués, systèmes pair à pair, médiation, approche économique, répartition de charge, réquisition

Flexible mediation in a peer to peer system

Abstract

We are interested in open and dynamic distributed information systems, which put into action a large number of autonomous and heterogeneous information systems. In such context, a peer can play initiator's and provider's roles at the same time. The mediator's role consists in making link between initiators and providers, allocating queries to more relevant providers. Initiators' and providers' preferences can be antagonistic, the firsts favouring pertinent replies whereas seconds privileging to handle some queries. Often, mediators acknowledge only one point of view among these of initiator and provider.

This thesis proposes a mecanism of flexible mediation which take in account the two points of view, in order to guarantee satisfaction for all actors of system. On the one hand, the providers make *monetary offers* which represent their interests in the request. On the other hand, the interest that an initiator may have for one or another provider who treats the request is linked to the notion of *quality*. These two measure are the basis of selection step of our flexible mediation. Moreover, it can permit to requisition providers that do not want to treat query when it is necessary. Mediation combines a social aspect with an economic aspect via the use of a currency. We examine the satisfaction established by the peers in the system. We also study the properties which result from microeconomy. Through experimentation, we compare flexible mediation with other processes in variant contexts with the aim to determining the optimum usage conditions.

Keywords: Distributed information systems, peer to peer systems, mediation, economic approach, load balancing, requisition

Classification ACM

Catégories et descripteurs de sujets : Num CR [**catégorie**]: sous-catégorie—*descripteur éventuel*; Num CR [**catégorie**]: sous-catégorie.

Termes généraux : Design, Economics, Experimentation, Performance, Reliability, Theory .

Discipline : INFORMATIQUE
Spécialité : INFORMATIQUE

Laboratoire : LABORATOIRE D'INFORMATIQUE DE NANTES ATLANTIQUE.
CNRS FRE 2729. 2, rue de la Houssinière, BP 92 208 – 44 322 Nantes, CEDEX 3.