



HAL
open science

Architecture distribuée à base d'agents pour la simulation proactive et l'aide à la décision dans la chaîne logistique

El Habib Nfaoui, Yacine Ouzrout, Abdelaziz Bouras, Omar El Beqqali

► To cite this version:

El Habib Nfaoui, Yacine Ouzrout, Abdelaziz Bouras, Omar El Beqqali. Architecture distribuée à base d'agents pour la simulation proactive et l'aide à la décision dans la chaîne logistique. MOSIM'08, Mar 2008, Paris, France. pp.9. hal-00442249

HAL Id: hal-00442249

<https://hal.science/hal-00442249>

Submitted on 30 Oct 2018

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

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

ARCHITECTURE DISTRIBUÉE À BASE D'AGENTS POUR LA SIMULATION PROACTIVE ET L'AIDE À LA DECISION DANS LA CHAÎNE LOGISTIQUE

E.H. NFAOUI^{(a),(b)}, Y. OUZROUT^(a), A. BOURAS^(a), O. EI BEQQALI^(b)

^(a) LIESP – Université Lumière
Lyon 2, 160 Bd de l'université, Bron
CEDEX 69676. Lyon France

^(b) GRMS2I – FSDM, Université Sidi
Md Ben AbdEllah, B.P 1796
Fès-Atlas. Maroc

elhabib.nfaoui@univ-lyon2.fr, yacine.ouzrout@univ-lyon2.fr, abdelaiz.bouras@univ-lyon2.fr
obekkali@fsdmfes.ac.ma

RESUME : *Au cours des dernières années, les industriels furent les principaux instigateurs de l'évolution de la chaîne logistique (Supply Chain) dans le but d'optimiser fabrication et distribution. Aujourd'hui, les clients sont de plus en plus exigeants et les industriels doivent tenter de répondre au mieux à leurs besoins en matière de personnalisation, de rapidité de traitement des commandes et de livraison. Dans cet article, nous proposons une architecture distribuée à base de système multi-agent pour la simulation proactive et l'aide à la décision collaborative dans les chaînes logistiques afin d'avoir la capacité à satisfaire au mieux les demandes des clients en termes de livraison, plus particulièrement, lors de la présence des commandes incertaines, des commandes imprécises et des exceptions (problème de production, problème de transport, erreur sur prévisions, retard de livraison, etc.). Nous proposons un ensemble de protocoles de négociation entre agents et nous les modélisons avec le langage Agent UML (Unified Modeling Language).*

MOTS-CLES : *Supply Chain Management, Incertitude des Informations, Systèmes Multi-Agent, Simulation Proactive, Protocoles de Négociation, Agent UML.*

1. INTRODUCTION

La Supply Chain (SC) est définie comme un ensemble de trois entreprises (ou plus) directement liées par un ou plusieurs flux amont et aval de produits, de services, d'informations et financiers, du point d'origine au point de consommation finale (Samii, 2004). Il est donc clair que tout système industriel s'appuie, formellement ou non, sur une supply chain. Au cours des dernières années, les industriels furent les principaux instigateurs de l'évolution de la SC dans le but d'optimiser fabrication et distribution. Aujourd'hui, le niveau de qualité de fabrication - facteur d'avantage compétitif à long terme - s'est peu à peu uniformisé. La nouvelle source d'avantage compétitif devient donc la capacité à satisfaire au mieux les demandes des clients en termes de livraison. F. Doche (Doche et al., 1999) confirme que l'acquisition d'un nouveau client peut coûter jusqu'à vingt fois plus cher que la fidélisation d'un client existant. Une réduction des défauts de 5% génère une hausse des bénéfices de 25% à 85%. Il ne sert donc à rien de dépenser des fortunes pour recruter de nouveaux clients si l'on n'est pas capable, avant tout, de fidéliser sa propre clientèle. Aujourd'hui, les clients sont de plus en plus exigeants et les industriels doivent tenter de répondre au mieux à leurs besoins en matière de *personnalisation, de rapidité de traitement des commandes et de livraison.*

Plusieurs techniques et méthodes (GPA -Gestion Partagée des Approvisionnements-, CPFR -Collaborative Planning and Forecasting Replenishment-, Transshipment, etc.) ainsi que des outils informatiques (ERP -Enterprise Resource Planning-, APS -Advanced Planning Systems-, etc.) sont développées et mises en œuvre dans le cadre du supply chain management (SCM) en vue de répondre à ce besoin. Cependant, la littérature montre que ces techniques n'apportent pas de solutions efficaces pour les *situations d'urgence* causées par la présence: des *commandes incertaines*, des *commandes imprécises* (une commande imprécise est une commande dont la quantité commandée n'est pas connue avec exactitude) et des *exceptions* (problème de production, problème de transport, erreur sur prévisions, retard de livraison, etc.).

Dans cet article, nous proposons une architecture distribuée à base de Système Multi-Agent (SMA) pour gérer ces *situations d'urgence*. Cette architecture s'ajoute comme une couche complémentaire aux systèmes d'informations des acteurs de la SC afin de les améliorer en terme d'efficacité, réactivité et prise de décisions collaboratives lors de la présence d'une situation d'urgence. La spécificité de notre outil est qu'il peut être utilisé aussi bien entre des acteurs collaborant et partageant les informations stratégiques que des

acteurs concurrents qui pour eux le partage d'information présente un grand défi.

Nous présentons tout d'abord un état de l'art sur les méthodes et les outils SCM utilisés par les industriels ainsi que les récents travaux liés avec notre contribution. Ensuite nous montrons dans la section 3 l'intérêt de la simulation proactive et l'utilisation des systèmes multi-agent dans le domaine de la supply chain. La section 4 présente notre modèle à base d'agents et la section 5 est consacrée aux protocoles de négociation que nous proposons pour gérer les situations d'urgence. La section 6 présente un cas d'étude qui teste les protocoles de négociation. Enfin, nous concluons.

2. ÉTAT DE L'ART

Différents niveaux de collaboration, coopération, coordination, communication et de partenariat entre les entreprises ont été mis en place dans l'industrie ces derniers temps afin de résoudre les différentes problématiques de gestion de la supply chain, notamment celles dues aux flux d'informations et aux flux de produits. Ces problématiques couvrent les trois niveaux de planification dans la chaîne logistique (figure 1) ainsi que les différents horizons de la prise de décision (long, moyen et court termes). Parmi les outils et les pratiques utilisées, on peut citer :

a. ERP / APS

Les ERP (ERP, 2006) sont des outils transactionnels qui assurent la capture des données et leur stockage (commandes, gestion des stocks, etc.). Les logiciels de type APS sont des outils spécialisés structurant la décision pour la planification de la demande, de la production et de la distribution. Ils optimisent la planification et synchronisent les flux de la chaîne logistique en tenant compte simultanément d'un grand nombre de contraintes (ressources, capacités, délais, coûts, profits etc.) (CXP, 2001). La planification avancée (APS) permet aujourd'hui de recalculer rapidement un plan tactique sur la base d'une recherche d'optimum. Si cela garantit la faisabilité du plan, il n'en assure pas la robustesse (Lamouri, 2006). Le terme robustesse est généralement associé à celui de risque et de prise de décision (Kleijnen, 2003). Un système est dit robuste s'il permet d'obtenir une faible dispersion des performances cibles malgré les variations du niveau des variables de décision non contrôlables (Lamouri, 2006).

b. ECR

L'Efficient Consumer Response (ECR) (en français, réponse optimale au consommateur) a pour objectif d'assurer un flux de marchandises sans rupture ainsi que de fiabiliser et fluidifier les flux d'information correspondant (Baglin et al., 2001).

c. GPA et CRP

La Gestion Partagée des Approvisionnements (GPA ou VMI pour Vendor Managed Inventory) et le programme de réapprovisionnement en continu (en anglais CRP pour Continuous Replenishment Program) sont deux systèmes très similaires mais mis en place dans deux industries

différentes. Ils utilisent une centralisation de l'information pour que le fournisseur puisse contrôler le réapprovisionnement de son client. Le problème dans le système GPA c'est la prévision. Il existe un manque d'intégration et d'exploitation de l'information stockée dans les datawarehouses. De plus la GPA ne permet pas de reconnaître la gestion des exceptions, c'est-à-dire les événements qui ne peuvent pas être prévus dans le processus logistique (par exemple la rupture due à une augmentation trop forte de la demande). Cela dégrade le taux de service car la commande ne peut pas être assurée dans le temps.

d. CPFR

Le CPFR (Simchi- Levi, 2000) est un standard qui améliore le VMI et le CRP en incorporant la prévision commune de la demande. La particularité du CPFR, et ce qui en fait son attrait, c'est le fait que cette méthode prend aussi bien en compte la gestion de l'offre que la gestion de la demande. Il faut donc, pour que ce processus puisse être exploité de la meilleure façon qu'il soit, que producteurs et distributeurs partagent et communiquent les informations qu'ils détiennent dans un environnement de transparence et dans la perspective d'un partenariat « gagnant-gagnant ».

e. Stock échelon

Le stock échelon comprend la somme du stock local et du stock de tous les centres de distribution de niveau inférieur. La notion de stock échelon est plus cohérente avec les décisions centralisées et requiert un haut degré de partage d'informations entre les différents acteurs de la SC, alors que dans le schéma décentralisé, chaque entité gère son propre stock et passe les commandes à ses prédécesseurs en optimisant son propre objectif.



Figure 1. Les trois niveaux de planification dans la chaîne logistique (Lamouri, 2006)

Actuellement, la majorité des pratiques exigent un partage d'informations, ce qui n'est pas possible dans le cas d'une SC formée d'acteurs indépendants ou parfois concurrents. Par exemple, des distributeurs concurrents qui s'approvisionnent en produits finis chez le même producteur. En outre, elles ne donnent pas des solutions pour résoudre les situations d'urgences (présence des commandes incertaines, des commandes imprécises ou des exceptions, etc.) au moment de leur présence, et surtout pendant un intervalle de temps acceptable.

Le traitement des commandes incertaines, ou commandes imprécises, a été envisagé dans plusieurs travaux de recherche (Fargier et al., 2002), (Hapke et al., 2000), (Geneste et al., 2000) et (Letouzey et al., 2001). Mais le travail qui a englobé la majorité des études et a analysé simultanément l'imprécision et l'incertitude des informations a été proposé par (Reynoso, 2004). Après avoir balayé l'apport des autres travaux, l'auteur propose une démarche similaire à MRP2 (Application de gestion des approvisionnements) qui succède au MRP (Material Requirements Planning) en lui ajoutant des fonctions de gestions des capacités et de calcul des coûts) avec une approche basée sur la logique floue (fuzzy logic): '*MRP flou*'. Giannoccaro (Giannoccaro et al., 2003) a aussi utilisé la logique floue pour proposer une méthode de gestion de stock dans la supply chain. Il a modélisé l'incertitude de la demande et les coûts du stock (coût de possession et coût des commandes en retard).

Notre contribution s'inscrit principalement dans ce contexte, nous proposons d'ajouter une couche complémentaire de simulation proactive et d'aide à la décision aux systèmes d'informations afin d'apporter des solutions instantanées et automatisées aux situations d'urgences. Dès qu'un événement survient dans la chaîne, c'est-à-dire lorsque l'état de la chaîne logistique dévie de l'état planifié, les alertes sont générées conduisant les gestionnaires à re-planifier, tout en se basant sur les propositions automatisées des agents représentant chaque entité. Des contre-mesures sont lancées rapidement pour corriger et sauver la situation, synchronisant à nouveau l'ensemble des maillons de la chaîne avec les nouvelles conditions. Notre système prend en compte tous les acteurs potentiels de la SC si nécessaire, en commençant du fournisseur le plus en aval jusqu'au client le plus en amont. Notre angle de vue se résume comme le suivant: *Une situation d'urgence est survenue même si on a pris toutes les précautions et les mesures, alors que peut-on faire pour sauver la situation? Sachant que les acteurs peuvent être indépendants.*

3. LA SIMULATION PROACTIVE ET LES SYSTÈMES MULTI-AGENT DANS LE DOMAINE DE LA SUPPLY CHAIN

La simulation a longtemps été cantonnée à la phase de conception ou de re-conception des systèmes. La deuxième utilisation de la simulation est la prise de décision. Ce type de simulation est connu sous le terme de simulation proactive (Cardin, 2006). Elle est largement utilisée pour le pilotage des systèmes industriels. Nous citons à titre d'exemple, la simulation pour l'aide au pilotage d'une unité organisée au moyen de KANBAN (Pujo, 2004) et le projet commun entre la société SIMPARTNERS et l'AIP PRIMECA qui avait comme objectif la réalisation d'un prototype de prise de décision et de simulation en ligne sur une unité d'assemblage réelle (Iassinovski, 2006).

Dans le cadre du SCM, les décisions sont prises de manière collaborative, puisque chaque acteur intègre

dans sa prise de décision les préoccupations de ses partenaires. Or, devant une situation de planification opérationnelle (court terme, par exemple : commande urgente) ou bien une situation de négociation pour modifier une date de livraison en cas d'aléas (problème de production, problème de transport, etc.), le système de décision ne dispose en général que de peu de temps pour faire son choix, et il doit donc être capable d'évaluer les conséquences correspondant aux différents scénarios qui s'offrent à lui dans un délai plus court. En plus, vu la nature distribuée de la SC (Supply Chain), l'évaluation doit se dérouler elle aussi de manière distribuée, puisque chaque partenaire de la SC poursuit ses buts individuels tandis qu'il satisfait à ses contraintes locales et externes. Nous proposons d'utiliser la simulation proactive en complément des technologies existantes, pour aider à la prise de décision collaborative et la résolution des situations d'urgence.

Dans le cas d'une supply chain, trois conditions sont indispensables à vérifier pour que la simulation proactive soit efficace et donne des résultats satisfaisants :

- Les informations initialisant notre simulation proactive doivent renseigner sur l'état exact des acteurs constituant la supply chain.
- Etre capable d'évaluer les conséquences correspondant aux différents scénarios face à une situation donnée. Si nécessaire (en cas d'aléas), elle doit s'exécuter dans un délai plus court.
- L'évaluation doit se dérouler de manière distribuée.

Afin d'avoir un modèle flexible, réactif et vérifiant les conditions énoncées ci-dessus, nous avons choisi l'approche multi-agent pour développer notre architecture.

Plusieurs projets concernant l'utilisation des systèmes multi-agent dans la chaîne logistique ont été réalisés. Ces projets se confrontent à des problèmes différents de la chaîne logistique dont la conception et la gestion sont deux grandes catégories de problématiques. Clautier (Cloutier, 2001), Maturana (Maturana, 1999) et Parunak (Parunak, 1996) ont montré l'intérêt d'utiliser cette approche dans le domaine des supply chain. En particulier, Cloutier (Cloutier, 2001) précise que le paradigme des agents est une métaphore naturelle avec les organisations en réseau depuis que les unités de production distribuées possèdent les mêmes caractéristiques que les agents (basé sur la définition d'un agent de (Wooldridge and Jennings, 1995)) :

- *Autonomie* : une entreprise exécute des tâches d'elle-même sans intervention extérieure ;
- *Capacités sociales* : un acteur de la chaîne logistique peut communiquer avec un autre acteur pour, par exemple, lui passer une commande de produits ou de services ;
- *Réactivité* : une firme modifie son comportement si le marché ou la concurrence évolue ;
- *Pro-activité* : une entreprise peut initier d'elle-même de nouvelles activités, comme par exemple décider de lancer un nouveau produit sur le marché.

4. MODÈLE MULTI-AGENT PROPOSÉ

Une difficulté majeure auquel sont confrontés les développeurs d'applications pour la SC réside au niveau du modèle de celle-ci. En effet, le processus de modélisation prend beaucoup de temps puisque actuellement il n'existe pas de méthodes génériques pour la modélisation des SC en utilisant les systèmes multi-agent (Govindu and Chinnam, 2007) à l'exception de la méthodologie proposée dans (Govindu and Chinnam, 2007) et qui se trouve encore en cours de développement. La littérature montre que la plupart des modèles sont liés à des problèmes particuliers.

De notre part, nous avons proposé un modèle basé sur les processus afin qu'il soit le plus générique possible et que notre architecture sera utilisée dans des secteurs variés (comme le textile et l'habillement, le sanitaire, etc.). Nous avons choisi de modéliser chaque acteur par sept agents. Chacun de ces agents modélise une fonction principale de l'entreprise ou un processus particulier agissant sur la SC. Le fait d'attribuer un agent à chaque fonction ou à chaque processus permet d'augmenter les performances de traitement, notamment en terme de rapidité qui joue un rôle important lors de la présence d'une perturbation. Nous présentons ci-dessous les noms et les rôles de ces agents :

AgentPRC : il joue le rôle du processus relatifs au client. Il reçoit les commandes des clients, établit avec l'agent « AgentDis » un programme de livraison avant de soumettre ce programme au client et de le confirmer.

AgentDis : il gère le stock de distribution (stock de produits finis). Plusieurs paramètres caractérisent cet agent: méthode utilisée pour la gestion du stock, capacité du stock, etc.

AgentPro : cet agent gère le processus de production.

AgentApp : il gère le stock de fabrication (stock de matières premières, de composants et de produits semi finis).

AgentAch : il joue le rôle du processus achat. En particulier, il approvisionne l'entreprise en matières premières nécessaires à la fabrication du produit fini.

AgentSCM : il modélise le rôle des pratiques et techniques mises en œuvre par les acteurs pour piloter et gérer leur supply chain. Elles sont connues sous le terme "Supply Chain Management".

AgentPer : il joue le rôle des perturbations. Il permet au modèle d'être ouvert et extensible pour modéliser une grande variété de perturbations et couvrir différents types de supply chain (taille mondiale, taille nationale, genre du secteur d'activité).

Dans le cas d'un acteur de type distributeur, les agents « AgentPro » et « AgentApp » n'existent pas.

Finalement, L'architecture complète (figure 2) est formée d'un ensemble d'agents représentant les acteurs de la SC. Ces agents communiquent entre eux et négocient à l'aide de protocoles. Ils cherchent les données qui les intéressent dans les systèmes d'informations des acteurs (comme les ERP).

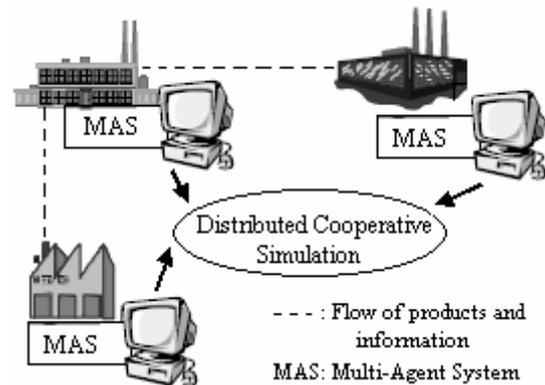


Figure 2. Architecture complète

5. PROTOCOLES DE NÉGOCIATION

La négociation est le mécanisme par lequel les agents peuvent arriver à un accord commun. Dans le cas des agents intelligents et des SMA, La négociation est une composante de base de l'interaction et cela parce que les agents sont autonomes (Jenning, 2001) ; il n'y a pas de solution imposée à l'avance et les agents doivent arriver à trouver des solutions dynamiquement, pendant qu'ils résolvent les problèmes. Pour modéliser la négociation entre les agents composant notre système, nous avons pris en compte les aspects suivants :

- *L'objet de négociation* : un objet abstrait qui comprend les attributs que les agents veulent négocier. Dans notre architecture, plusieurs objets sont sujets à négocier selon la situation. Nous trouvons entre autres, le scénario acceptable en cas d'aléas, la commande avec ses attributs quantité et date de livraison, les prévisions avec leurs attributs quantité, date et exception.
- *Le processus de décision* : le modèle que l'agent utilise pour prendre des décisions pendant la négociation. La partie la plus importante de la prise des décisions dans ce cas est la stratégie de négociation qui permet de déterminer quelle primitive de négociation l'agent doit choisir à un certain moment.
- *Le langage de communication* : le langage utilisé par les agents pour échanger des informations pendant la négociation. Dans notre architecture de simulation, les agents communiquent à l'aide du langage FIPA-ACL (FIPA, 2002), il s'agit du langage standard spécifié par l'environnement JADE (Java Agent Development Framework) (Bellifemine, 1999) que nous avons utilisé pour développer notre architecture.
- *Le protocole de négociation* définissant l'ensemble des règles qui régit la négociation : Les participants possibles à la négociation, les propositions légales que les participants peuvent faire, les états de la négociation et enfin une règle pour déterminer quand on est arrivé à un accord ou quand il faut s'arrêter parce qu'aucun accord n'a pas pu être trouvé.

Dans le contexte du supply chain management, les agents sont coopératifs, ayant le même but (agrégation des objectifs locaux), partagent et résolvent ensemble

des problèmes. Pour cette raison, ils doivent fournir des réactions plus utiles aux propositions qu'ils reçoivent. Ces réactions peuvent prendre la forme d'une critique ou d'une contre-proposition (proposition refusée ou modifiée). Une critique est un commentaire sur la partie de la proposition que l'agent accepte ou refuse. Une contre-proposition est une proposition alternative engendrée en réponse à une proposition. A partir de telles réactions, l'agent doit être capable d'engendrer une proposition qui est probablement plus apte à mener à un accord. En conséquence, les agents de notre système doivent utiliser des protocoles respectant les critères qui viennent d'être énoncés et dépendant essentiellement de trois paramètres :

- Le secteur d'activité de la supply chain (industrie de textile et habillement, industrie des biens de consommation, etc.).
- Méthodes et approches SCM utilisées pour la coopération et la coordination.
- Objet à négocier : commande urgente, commande normale, prévisions de ventes, prévisions de commandes, plan de livraison en cas d'aléas, etc.

Nous proposons un ensemble de protocoles de négociation entre agents pour gérer les situations d'urgence dans la supply chain : Le protocole de négociation heuristique *ferme*, le protocole de négociation heuristique *récurive* et les protocoles correspondant aux différentes méthodes et pratiques SCM (comme : le CPFR, le Transshipment, etc.). Nous nous focaliserons dans les sections suivantes sur les deux protocoles de négociation heuristique *récurive* et *ferme* et le protocole de négociation de type CPFR utilisé entre l'agent « AgentSCM » d'un distributeur et l'agent « AgentSCM » de son fournisseur. Nous modéliserons aussi ces protocoles à l'aide des diagrammes de séquence AUML (Huget, 2004).

5.1 Négociation heuristique

La négociation heuristique est montrée dans la figure 3 (Florea, 2002). Dans ce protocole plusieurs propositions et contre-propositions peuvent être échangées dans les différentes étapes afin d'arriver à un accord. L'agent A, avec la proposition pA, est l'initiateur de la négociation, alors que l'agent B (participant) peut répondre avec les réponses p1B, p2B, p3B (to Modify Request). Le nombre des contre-propositions est limité. Une fois que cette limite est atteinte, les agents arrivent à un rejet. Nous proposons de récapituler le fonctionnement du protocole de négociation heuristique à l'aide d'un digramme de séquence AUML (figure 4).

5.2 Proposition d'une négociation heuristique ferme

Dans certaines situations de négociation, les agents coopératifs sont obligés d'arriver à un accord. C'est le cas par exemple de deux agents « AgentSCM » d'acteurs différents collaborant sur les prévisions de ventes. Pour cela, la négociation heuristique étudiée dans la section

précédente (cf. figure 4) doit comporter seulement les primitives ACCEPT-PROPOSAL ou PROPOSE. Ainsi, nous proposons le protocole de négociation heuristique *ferme* qui est un cas particulier de la négociation heuristique. Le nom « ferme » qualifie ce protocole puisqu'il mène toujours à un accord. La figure 5 montre le diagramme de séquence AUML décrivant ce protocole.

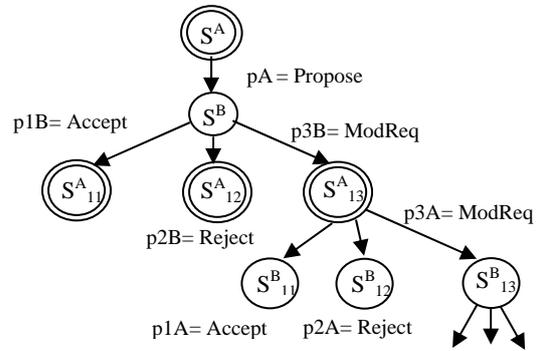


Figure 3. Négociation heuristique

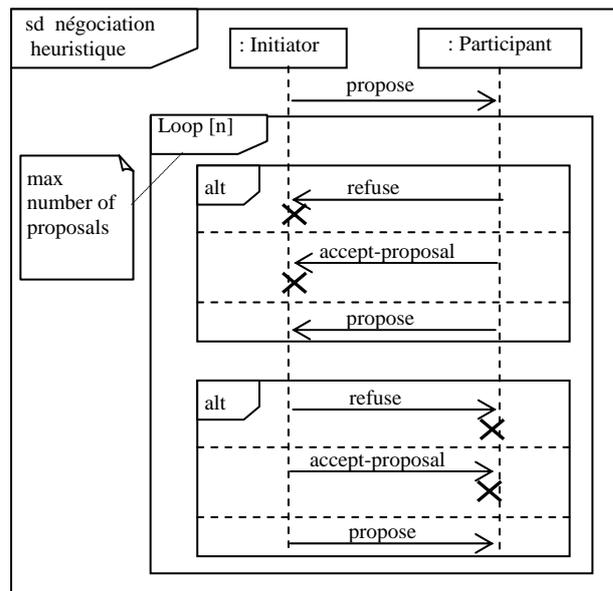


Figure 4. Négociation heuristique

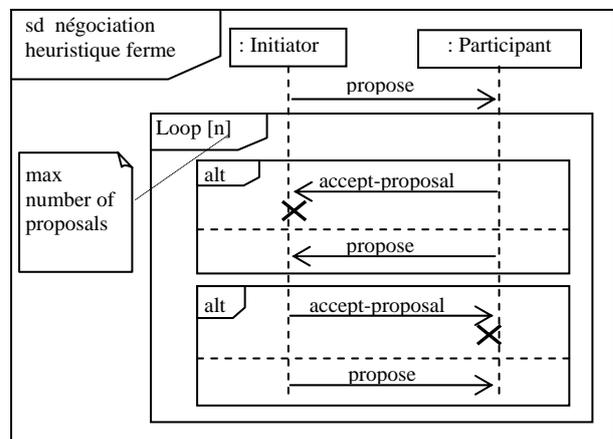


Figure 5. Négociation heuristique ferme

5.3 Proposition d'une négociation heuristique réursive

Le protocole de négociation heuristique *réursive* que l'on propose se déroule au moins entre trois agents, l'agent initiateur de la négociation, l'agent destinataire qui pourra être l'initiateur d'une nouvelle négociation heuristique avec le troisième agent. D'où le nom « réursive » qualifiant cette heuristique. La figure 6 montre le diagramme de séquence AUML correspondant.

Dans notre architecture de simulation proactive, les agents utilisent le protocole de négociation heuristique *réursive* afin de négocier une commande urgente ou le scénario à adopter en cas d'aléas. Ce protocole peut aussi être utilisé à l'intérieur d'un protocole correspondant à une pratique ou une démarche SCM. Dans le cas général, il se déroule de la manière suivante :

- L'agent initiateur de la négociation envoie des messages (pas nécessairement identiques) de performative « PROPOSE » à tous les agents directs (amont et/ou aval) qu'il croit candidats à une négociation. Ainsi, il lance plusieurs négociations indépendantes. Il n'attend pas toutes les réponses pour prendre une décision. De plus, selon la situation et l'intervalle de temps dont il dispose, il peut chercher la meilleure solution en créant de nouvelles propositions déduites des réponses reçues ;
- Puisque les agents de notre architecture sont coopératifs, chacun d'eux recevant un message peut à son tour initier une négociation si nécessaire entre les agents se trouvant en amont et en aval afin de trouver une solution, d'où le nom « *réursive* » qualifiant cette heuristique.

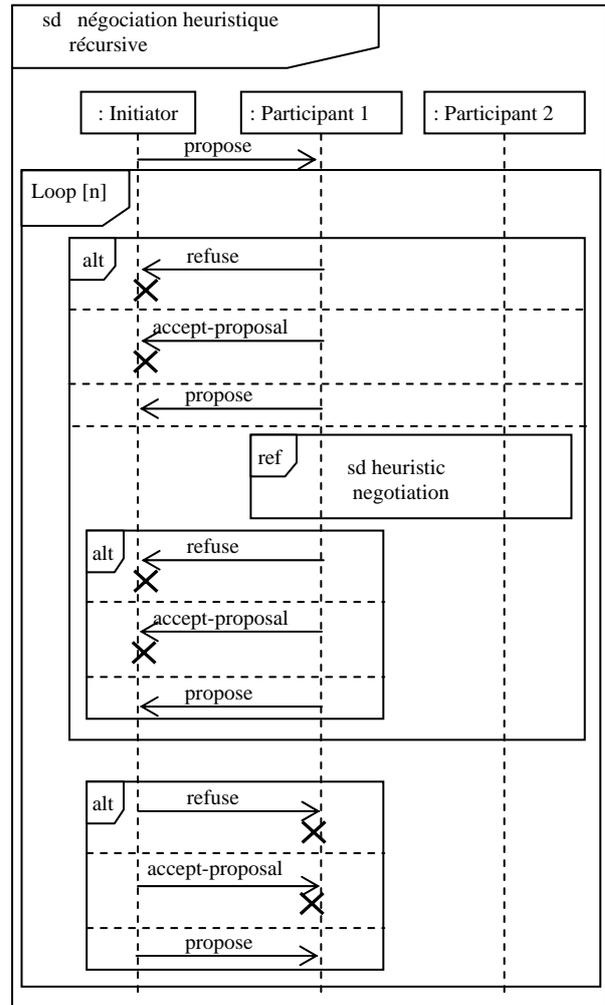


Figure 6. Négociation heuristique réursive

5.4 Protocole de négociation CPFR

Le CPFR est un processus collaboratif mis en place entre les entreprises qui prend en compte toute la supply chain. Il s'agit d'une méthode de gestion globale de l'offre et de la demande. Le protocole de négociation CPFR entre un fournisseur et un distributeur se déroule selon les étapes suivantes :

- La négociation débute entre les deux agents « AgentSCM » du distributeur et son fournisseur dès que l'un d'eux crée des prévisions de ventes et en informe l'autre.
- L'agent destinataire consulte et analyse ces prévisions, ensuite il envoie un message de confirmation à l'émetteur ou bien initie une négociation heuristique *ferme* avec lui s'il n'est pas d'accord afin de modifier ces prévisions. Dans tout les cas, l'émetteur et le destinataire doivent se mettre d'accord sur des prévisions de ventes puis les partager.
- Chacun des deux peut être l'auteur d'une négociation heuristique qui résout une exception (changements et mises à jour) sur les prévisions de ventes créées. Cette négociation heuristique entre les deux agents est sujette à devenir *réursive* pour impliquer d'autres agents pouvant aider à la résolution. La négociation se

termine lorsque toutes les exceptions sont résolues ou le délai fixé dynamiquement est expiré.

- L'agent « AgentSCM » du distributeur envoie un message de type performative « INFORM » à l'agent « AgentSCM » de son fournisseur contenant des informations sur le niveau de ses stocks (quantités en commandes, en stock...).
- L'agent « AgentSCM » du fournisseur répond aussi par un message de type « INFORM » indiquant sa capacité de production, l'historique de sa production, de ses lead times...
- A ce stade, la négociation concernant les prévisions de ventes est terminée. Une nouvelle négociation débute entre les deux agents dès que l'un d'eux crée des prévisions de commandes et en informe l'autre.
- Chacun des deux peut être l'auteur d'une négociation heuristique qui résout une exception sur les prévisions de commandes créées. Cette négociation heuristique est sujette à devenir *réursive* pour impliquer d'autres agents pouvant aider à la résolution. La négociation se termine lorsque toutes les exceptions sont résolues ou le délai fixé dynamiquement est expiré.
- Enfin, selon la situation, l'un d'eux transforme la prévision d'une commande en un engagement d'une

commande ferme, puis en informe immédiatement l'autre.

La figure 7 illustre le diagramme de séquence AUML correspondant lorsque le fournisseur s'occupe de la création des prévisions de ventes et les commandes certaines.

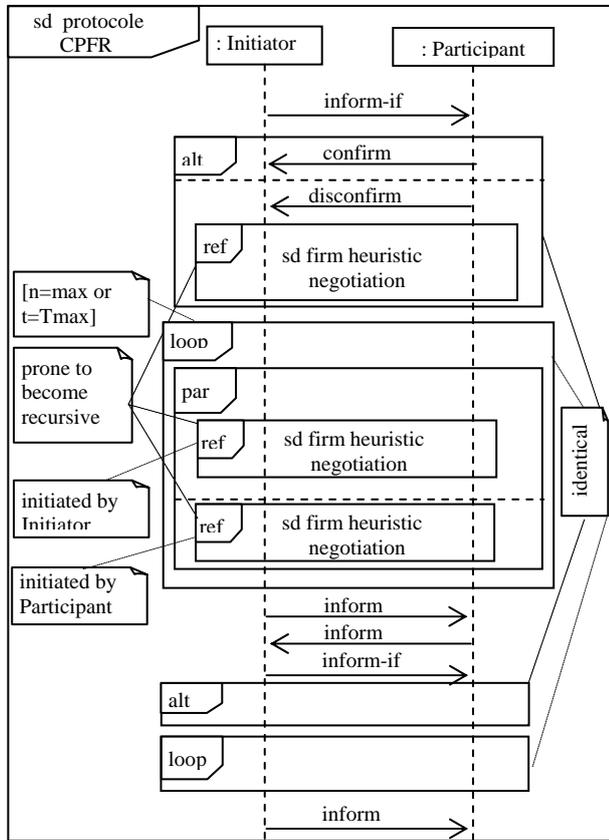


Figure 7. Protocole CPF

6. CAS D'ÉTUDE

Dans le but de tester les protocoles proposés dans cet article, nous avons considéré un cas particulier de supply chain des industries du textile et de l'habillement comprenant une entreprise centrale (maison-mère) et deux filiales F1 et F2 situées en trois pays différents. Les fonctions d'approvisionnement en matières premières, de fabrication et de distribution vers les stocks sont réalisées par l'entreprise centrale. Les fonctions de vente et de distribution aux grossistes sont à la charge des filiales. La filiale F1 distribue les produits à deux grossistes concurrents, tandis que la filiale F2 distribue les produits à deux grossistes non concurrents situés dans deux zones géographiques différentes. Chacun de ces deux derniers utilise le protocole CPF pour collaborer avec son distributeur (filiale F2), alors que les deux grossistes concurrents utilisent une collaboration simple sans partage de données avec leur distributeur (même filiale F1) puisqu'ils craignent la diffusion de leurs informations stratégiques.

Nous avons représenté les clients finaux par un agent qui passe aux grossistes deux types de commandes :

- Commandes pseudo-cycliques concernant un produit P1.
- Commandes aléatoires uniformes liées au stade de commercialisation d'un nouveau produit de mode noté P2.

Au cours de la simulation, nous avons calculé l'indicateur de performance : *nombre des commandes livrées en retard* par les deux filiales, qui traduit une rupture en linéaire chez les grossistes. Le tableau 1 montre les résultats obtenus pendant la durée de simulation.

	Filiale F1		Filiale F2	
	P1	P2	P1	P2
Nombre des commandes livrées en retard	4	11	1	4

Tableau 1. Indicateurs de performance

Analyse des résultats :

- Pour le produit P2, nous remarquons que la filiale F2 a livré seulement 4 commandes en retard devant 11 livrées par F1. La différence entre les deux nombres est relativement importante. Ceci montre très bien que la filiale F2 et ses grossistes ont bénéficié de prévisions de ventes et de commandes plus précises puisqu'ils mettent en œuvre le processus CPF, surtout que la nature des commandes du produit P2 est aléatoire uniforme. Ce type de commandes est relativement difficile à maîtriser, car les acteurs (maison-mère, filiales et grossistes) n'ont pas l'idée du comportement du produit sur le marché. C'est le cas de plusieurs produits de mode dans le domaine du textile et d'habillement.

- Pour le produit P1, la filiale F2 a livré une seule commande en retard devant 4 livrées par F1. La différence n'est pas relativement grande, car les commandes concernant le produit P1 et passées par le client final sont pseudo-cycliques. C'est-à-dire qu'au niveau des acteurs, les variations de ces commandes sont connues. C'est le cas de plusieurs produits de textile et d'habillement dont la demande varie selon les saisons de l'année (tee-shirt pour la saison d'été, Manteau pour la saison d'hiver).

Nous déduisons donc que le processus CPF mis en place entre la filiale F2 et ses grossistes a réduit considérablement le nombre des commandes livrées en retard. En conséquence, le nombre de rupture en linéaire chez les grossistes sera réduit, ceci se traduira par un bon niveau de service dans l'optique de la fidélisation du client final.

Cette étude de cas qui n'a pour objectif que d'expérimenter les protocoles proposés, nous montre que lorsque le niveau de collaboration augmente, le nombre des commandes livrées en retard diminue. Le niveau de collaboration peut augmenter en choisissant des pratiques et méthodes de collaboration reposant sur le partage des données (comme le CPF) et en intégrant plusieurs acteurs dans la prise de décision.

7. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Dans cet article nous avons présenté une architecture de simulation proactive à base d'agents en cours de réalisation qui à terme devrait aider à la prise de décision collaborative dans les chaînes logistiques, en particulier lors de la présence des situations d'urgence dues aux commandes incertaines, commandes imprécises et aux exceptions (problème de production, problème de transport, erreur sur prévisions, retard de livraison, etc.). Le modèle développé à ce stade permet d'expérimenter un ensemble de protocoles de négociation que nous avons proposés et formalisés avec AUML.

Vu la diversité des plate-formes utilisées par les acteurs industriels et la nature distribuée de la supply chain, nous avons choisi l'environnement de développement JADE basé sur le langage JAVA pour implémenter les agents.

Les tests réalisés à ce jour sont très prometteurs et montrent qu'il est possible, en connectant les agents de notre architecture aux systèmes d'informations des acteurs (ERP à titre d'exemple) d'une supply chain, d'apporter une aide importante dans la prise de décision collaborative en cas de situations d'urgence.

Comme perspectives de notre travail nous nous proposons de développer une bibliothèque de classes pour assurer la connexion des agents avec un grand nombre de systèmes d'informations utilisés par les industriels. Nous envisageons pour cela de travailler parallèlement avec des éditeurs de systèmes d'informations et des entreprises pour lesquelles la problématique de la gestion des commandes imprécises, des commandes incertaines et des exceptions est importante.

REFERENCES

- Baglin, G., Bruel, O., Garreau, A., Greif, M. and Delft, Ch., 2001. *Management Industriel et Logistique, Collection Gestion, Série: Productique et techniques quantitatives appliquées à la gestion*, Economica, pp: 493-497.
- Bellifemine, F., Poggi, A., Rimassa, G., 1999. A FIPA-compliant agent framework. *CSELT internal technical report, et dans Actes de PAAM'99*, London, Avril 1999, pp.97-108.
- Cardin, O., Castagna, P., 2006. Utilisation de la simulation proactive: Une aide au pilotage des systèmes de production. *In Proceedings of the MOSIM'06*, Rabat, Morocco.
- Cloutier, L., Frayret, J-M., D'Amours, S., Espinasse, B., Montreuil, B., 2001. A commitment-oriented framework for networked manufacturing coordination. *International journal of computer integrated manufacturing*, 14(6): 522-534.
- CXP, 2001. www.cxp.fr
- Doche, F., Djorno, Y., Douilly, N., 1999. L'art de l'entreprise mondiale. *Module 8 : Fidéliser le client mondial*. Financial Times Limited et Editions Village Mondial, Paris, pp : 207-234.
- ERP, 2006. <http://prisma.insa-lyon.fr/GroupeERP/>. (last access : April 2006).
- Fargier, H. Thierry, C., 2002. The use of possibilistic decision theory in manufacturing planning and control; Recent Results in Fuzzy Master Production Scheduling. *Dans le livre de Scheduling under fuzziness*, R. Slowinski and M. Hapke, Ed. Springer-Verlag, pp. 45-59, 2002.
- FIPA, 2002. FIPA ACL Message Structure Specification. *Foundation for Intelligent Physical Agents*. (<http://www.fipa.org/spcs/fipa00061/SC00061G.pdf>)
- Florea, A., 2002. Using Utility Values in Argument-based Negotiation. *In Proceedings of IC-AI'02, the 2002 International Conference on Artificial Intelligence*, Las Vegas, Nevada, USA, p .1021-1026.
- Geneste, L., Grabot, B., Moutarlier, P., 2000. Scheduling of heterogeneous data using fuzzy logic in a customer-subcontractor context. Scheduling under fuzziness, dans le livre *Studies in Fuzziness and Soft Computing serie*, Ed. R. Slowinski et M. Hapke, ISBN 1434-9922, Springer-Verlag.
- Giannoccaro, I., Pontrandolfo, P., Scozzi, B., 2003. A fuzzy echelon approach for inventory management in supply chains. *European Journal of Operational Research* 149 (2003) 185–196.
- Govindu, R., Chinnam, R.B., 2007. MASCF: A generic process-centered methodological framework for analysis and design of multi-agent supply chain systems. *Computers & Industrial Engineering*,
- Hapke, M. and Slowinski, R., 2000. Fuzzy set approach to multi-objective and multi-mode project scheduling under uncertainty, *Scheduling under fuzziness, Studies in Fuzziness and Soft Computing serie*, Ed. R. Slowinski and M. Hapke, Springer-Verlag, 197-221.
- Huget, M.-P., Odell, J., 2004. Representing Agent Interaction Protocols with Agent UML. *In Proceedings of the Fifth International Workshop on Agent-Oriented Software Engineering (AOSE 2004)*, Paolo Giorgini, Joerg Mueller and James Odell (eds.), New York.
- Iassinovski, S., Kuiss, K., Fagnart, C., 2006. Prise de décision et simulation en ligne : Application sur la ligne d'assemblage du CTT de l'AIP AUVERGNE. *In Proceedings of MOSIM'06*, Rabat, Morocco.
- Jennings, N. R., e.a., 2001. Automated negotiation: Prospects, methods and challenges. *Group Decision and Negotiation Journal*, 10(2), 2001, p.199-215.
- KLEIJNEN J.P.C., GAURY E., 2003. Short-term robustness of production management systems: A case study. *European Journal of Operational Research*, 148, p. 452-465.
- Lamouri, S., 2006. Synchronisation des prises de décisions dans une chaîne logistique: robustesse et stabilité. *Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches. École Doctorale d'Informatique et Électronique de Paris*. Institut Supérieur de Mécanique de Paris (Supméca Paris).

- Letouzey, A., Geneste, L., Grabot, B., 2001. Production planning forecasting under uncertainty using possibility theory. *CASYS 2001, 5th International Conference on Computing Anticipatory Systems*, Liege Belgique, 13-18 Aout 2001.
- Parunak, H. V. D., 1996. Applications of distributed artificial intelligence in industry. In *O'Hare, G. M. P. And Jennings, N. R., editors, Foundations of Distributed Artificial Intelligence*, pages 71-76. John Wiley et Sons.
- Pujo, P. Pedetti, M., Ounnar, F., 2004. Pilotage proactif des lignes de production kanban par modélisation DEVS et simulation temps reel. In *Proceedings of the 4e Conference Francophone de MODélisation et SIMulation*. MOSIM'04, Nantes, France, pp. 593-600.
- Reynoso, C., 2004. Prise En Compte De Commandes Incertaines Et Imprecises Dans Une Logique MRP2. *Dans les actes des Rencontres Francophones sur la Logique Floue et ses Applications (LFA'02)*, Montpellier – France, 21-22 Octobre 2002.
- Rota, K., 1998. Coordination Temporelle de Centres Gérant de Façon Autonomes des Ressources:Application aux Chaînes Logistiques Intégrées en Aéronautique. *Thèse de doctorat*. Université de Toulouse, France.
- Samii, A-K., 2004. Stratégie Logistique, Supply Chain Management. Editions. DUNOD. 3^e edition, Page 14-15.
- Simchi-Levi, D. Kaminsky, P. Simchi-Levi, E., 2000. Designing and managing the supply chain: Concepts, Strategies and Case Studies. Editions, McGraw Hill.
- Wooldridge, M. and Jennings, N. R., 1995. Intelligent agents: Theory and practice. *The Knowledge Engineering review*, 10(2) : 115-152.