

1997RP-04

L'Architecture Informatique des Marchés Intelligents

Marie Corriveau, Robert Gérin-Lajoie

Rapport de Projet
Project report

Montréal
Mai 1997



CIRANO
Centre interuniversitaire de recherche
en analyse des organisations

CIRANO

Le CIRANO est un organisme sans but lucratif constitué en vertu de la Loi des compagnies du Québec. Le financement de son infrastructure et de ses activités de recherche provient des cotisations de ses organisations-membres, d'une subvention d'infrastructure du ministère de la Recherche, de la Science et de la Technologie, de même que des subventions et mandats obtenus par ses équipes de recherche.

CIRANO is a private non-profit organization incorporated under the Québec Companies Act. Its infrastructure and research activities are funded through fees paid by member organizations, an infrastructure grant from the Ministère de la Recherche, de la Science et de la Technologie, and grants and research mandates obtained by its research teams.

Les organisations-partenaires / The Partner Organizations

- École des Hautes Études Commerciales
- École Polytechnique de Montréal
- Université Concordia
- Université de Montréal
- Université du Québec à Montréal
- Université Laval
- Université McGill
- Ministère des Finances du Québec
- MRST
- Alcan inc.
- AXA Canada
- Banque du Canada
- Banque Laurentienne du Canada
- Banque Nationale du Canada
- Banque Royale du Canada
- Bell Canada
- Bombardier
- Bourse de Montréal
- Développement des ressources humaines Canada (DRHC)
- Fédération des caisses Desjardins du Québec
- Hydro-Québec
- Industrie Canada
- Pratt & Whitney Canada Inc.
- Raymond Chabot Grant Thornton
- Ville de Montréal

© 1997 Marie Corriveau et Robert Gérin-Lajoie. Tous droits réservés. All rights reserved. Reproduction partielle permise avec citation du document source, incluant la notice ©.

Short sections may be quoted without explicit permission, if full credit, including © notice, is given to the source.

L'architecture informatique des marchés intelligents

Robert Gérin-Lajoie *
Marie Corriveau **

* *DIRO, en détachement au CIRANO, Université de Montréal, Montréal, Canada, e-mail : rgl@cirano.umontreal.ca*

** *Professionnelle de recherche au CIRANO, Montréal, Canada, e-mail : corrivem@cirano.umontreal.ca*

RÉSUMÉ : Le marché intelligent est un marché où les différents vendeurs et acheteurs négocient dynamiquement les prix et les quantités. Ces négociations génèrent les échanges nets, puis après optimisation, les échanges bilatéraux. Au Québec, l'industrie du porc a été la première à se doter d'un marché intelligent. Ce texte présente une topologie des différents mécanismes d'enchères et l'architecture d'un système de marché intelligent en Java. Le projet GAMME vise à développer l'expertise générique nécessaire pour mettre en oeuvre des marchés intelligents sur l'inforoute en développant des mécanismes d'échange performants et en créant les logiciels ainsi que les outils de test et de simulation nécessaires afin de mettre sur pied des projets pilotes.

MOT-CLÉS : MARCHÉS INTELLIGENTS, ENCHÈRES, MARCHÉS ÉLECTRONIQUES, INFORMATIQUE DISTRIBUÉ EN JAVA

ABSTRACT- The smart market is a global market where different sellers and buyers dynamically negotiate price and quantity. Thoses negociations find net exchange, and after optimmization, optimal bilateral exchange. This paper present a round up of auctions mechanisms and the architecture of a generic smart market system in Java. The GAMME project goal is to develop the generic expertise needed to build smart markets on the information highway in developping exchange mecanisms, the software, the test tools and simulation tools needed to build pilot projects.

KEY WORDS : SMART MARKETS, AUCTIONS, ELECTRONIC MARKETS, JAVA DISTRIBUTED COMPUTING

1. Les nouveaux marchés sur l'Inforoute

Le projet de Génération Automatisé de Multiples Marchés Électroniques (GAMME) a débuté en mai 1996 au sein du CIRANO (Centre Interuniversitaire de Recherche en ANalyse des Organisations) situé à Montréal. Ce projet est financé conjointement par Bell Canada et CIRANO. Les chefs de projet sont Jacques Robert, professeur en sciences économiques à l'Université de Montréal et Robert Gérin-Lajoie, chef des laboratoires informatiques de l'Université de Montréal.

1.1 Objectifs du projet GAMME

Le marché intelligent est un marché où les différents vendeurs et acheteurs négocient dynamiquement les prix et les quantités. Ces négociations génèrent les échanges nets, puis après optimisation, les échanges bilatéraux. Sur les inforoutes, le marché intelligent devient un lieu de rencontre virtuel. Au Québec, l'industrie du porc a été la première à se doter d'un tel marché. Le projet GAMME vise à développer l'expertise générique nécessaire pour mettre en oeuvre des marchés intelligents sur l'inforoute en développant des mécanismes d'échange performants et en créant les logiciels ainsi que les outils de test et de simulation nécessaires afin de mettre sur pied des projets pilotes.

1.2 La place du marché intelligent sur les nouvelles inforoutes

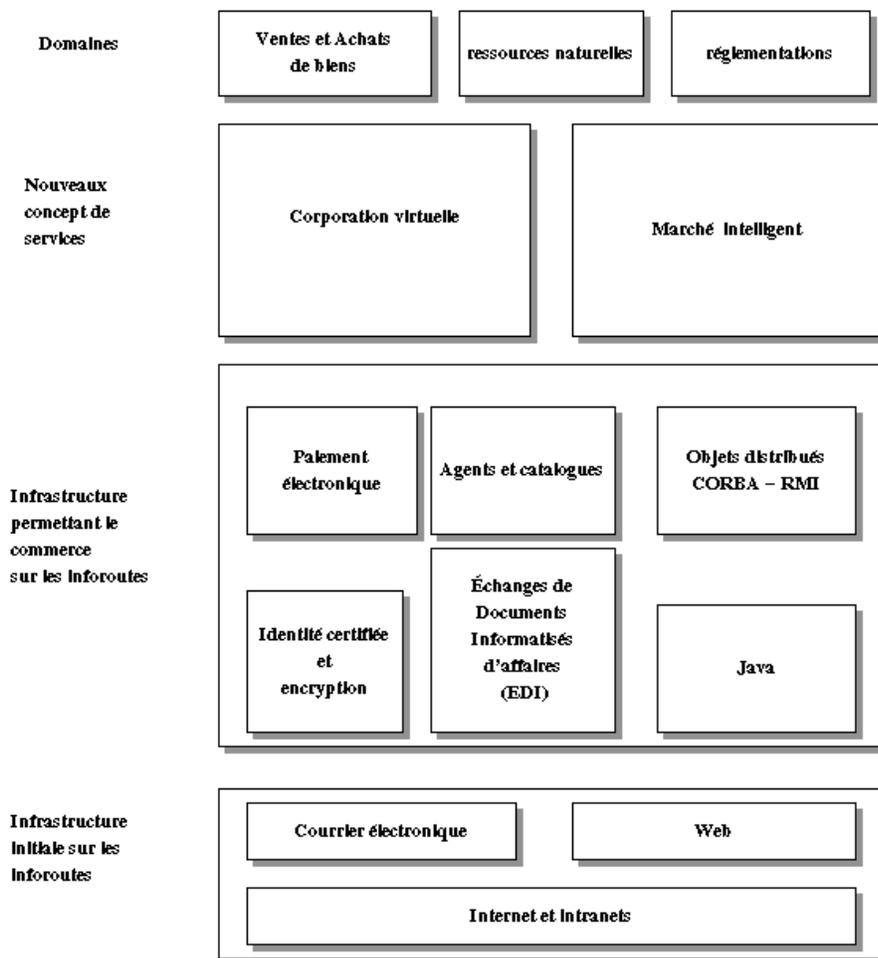


Figure 1 : « Les couches de services des marchés sur les inforoutes »

La figure 1 illustre les différents niveaux de services utilisés pour le commerce électronique sur les inforoutes. Au plus bas niveau, nous trouvons les protocoles standards de l'Internet, avec les services du Web et du courrier électronique. Puis au deuxième niveau nous avons les infrastructures permettant les échanges sur les inforoutes : les mécanismes de paiement électronique, l'identité certifiée, la signature et l'encryption, les catalogues, le protocole de transactions EDI, et du côté informatique les objets distribués avec soit CORBA ou RMI et enfin, évidemment, Java.

Cette infrastructure technique, ouverte, « standardisée » sur l'inforoute aujourd'hui (en 1997) rend possible de nouveaux processus d'affaires. Ainsi une entreprise se transforme en corporation virtuelle et les échanges d'un secteur industriel au complet se font via un marché intelligent.

Les corporations deviennent virtuelles de deux façons : d'une part, elles sont accessibles en tout temps sur le réseau pour leurs clients, et ce, d'une façon individualisée; d'autre part, elles peuvent combiner derrière une façade commune au client un service réalisé par plusieurs compagnies, les systèmes d'informations des compagnies interagissant.

Les marchés intelligents, ouverts aux acheteurs et aux vendeurs d'un secteur industriel, permettent de négocier dynamiquement les prix et les quantités d'échanges entre plusieurs acheteurs et vendeurs. Cela a pour effet de réorganiser le secteur d'activité industriel au complet, une multitude d'entreprises interagissant simultanément.

Ces mécanismes sont applicables dans une multitude de domaines. À titre d'exemple, nous avons les achats et ventes au grand public, les appels d'offres gouvernementaux et d'entreprises, les bourses de matières premières, la gestion des prix pour les réseaux téléphoniques ou électriques ainsi que l'attribution des droits gouvernementaux.

1.3 Les modèles de commerce sur les inforoutes

La documentation abonde de détails sur la technologie du commerce sur les inforoutes. Il importe de placer cette technologie dans un cadre plus global des modèles de commerce, du plus simple au plus optimal :

- I. Le commerce un à un
- II. Les babillards et les bourses électroniques
- III. Les enchères
- IV. Les enchères avec optimisation des flux.

Le commerce un à un et les babillards électroniques sont les modèles les plus courants. Les bourses regroupant les vendeurs et les acheteurs et les engins de recherche, recherchant les meilleurs prix d'achats ou de ventes affichés, sont souvent cités comme l'état de l'art dans le commerce électronique sur les inforoutes. Le problème avec ces modèles est la circulation inadéquate de l'information. Par exemple, les vendeurs essaient de bloquer les engins de comparaison des prix, ou bien n'affichent pas leurs prix sur l'inforoute. Le vendeur ou l'acheteur, avec l'information pertinente sur l'état du marché, pourrait vouloir modifier sa volonté d'achat ou de vente.

La suite du texte s'appliquera donc à décrire plus en profondeur les mécanismes d'enchères, seule solution pour maximiser la fluidité des échanges et de l'information sur les inforoutes.

2. Les mécanismes d'enchères

Un marché intelligent électronique se veut un marché centralisé dont le protocole est transparent et non-arbitraire et dont la périodicité et les règles du mécanisme d'échange sont adaptées aux exigences des divers intervenants suite à une entente entre les participants survenue avant l'implantation du marché. Les mécanismes d'enchères, étant donné leur grande diversité et leur excellente performance, sont souvent les mécanismes d'échange choisis. On mesure la performance d'un mécanisme d'enchère d'après (i) son efficacité : un mécanisme est efficace si ceux qui obtiennent les biens sont ceux qui valorisent le plus ces biens; (ii) les revenus générés : montant total des transactions; et (iii) le surplus des participants : différence entre la valeur ou le coût du bien pour un participant et le prix d'achat ou de vente.

On retrouve dans la documentation plusieurs types d'enchères dont certains sont utilisés depuis plusieurs décennies tandis que d'autres, plus sophistiqués et plus récents, font l'objet d'intensives recherches. Dans cette section, nous présenterons les divers mécanismes. La liste des mécanismes ne se veut pas exhaustive, mais donne une bonne idée de la grande diversité des mécanismes d'enchères. Un survol plus complet des mécanismes est disponible dans [Holt 95].

On verra que pour chaque type d'enchère présenté une série de règles, allant de règles très simples à des règles plus complexes, caractérisent le mécanisme. Chacune de ces règles, soient la procédure de mise, la mise minimum, l'incrément minimum, la règle permettant de faire des mises sur une combinaison d'items (packaging), l'ordre de priorité des mises, la règle d'activité visant à forcer les gens à être actif dans l'enchère avant la dernière minute, le droit de retrait, la règle déterminant la fin de l'enchère, les conditions d'échange, les prix payés, l'information divulguée sur le marché, etc., influence le comportement des participants. Ainsi, si les règles ne sont pas bien adaptées au marché, cela peut engendrer des problèmes de collusion ou de manipulation stratégique du marché de la part des participants. Le mécanisme d'échange d'un marché doit donc être soigneusement conçu et étudié pour être efficace.

Souvent l'analyse théorique ne suffit pas pour déterminer quel sera l'impact réel de tel ou tel mécanisme sur la performance d'un marché. Il est alors nécessaire de simuler en laboratoire et de tester avec de vrais participants les différents mécanismes proposés afin de pouvoir adapter le mécanisme à l'environnement spécifique auquel il sera confronté. En effet, il n'y a pas de mécanisme d'échange universel. Les mécanismes d'échange utilisés doivent être

choisis en fonction de la nature du produit et du marché et des objectifs visés. De plus, le mécanisme variera également selon que l'instigateur du marché est un producteur, un consommateur, un intermédiaire, un syndicat ou association de producteurs ou de consommateurs, un gouvernement ou enfin, une concertation sectorielle.

Pour ces raisons, nous croyons qu'un bon engin d'enchère se doit d'être générique et de pouvoir exécuter plusieurs mécanismes d'échange différents. Celui-ci peut alors servir d'outil de simulation et de test pour les différents mécanismes et être modifié au gré des exigences des intervenants afin d'être parfaitement adapté aux besoins et à l'environnement physique et technologique particulier du marché.

2.1 Classement des mécanismes

D'abord, les enchères peuvent être regroupées en 2 grands groupes : les **enchères à valeur commune** et les **enchères à valeur privée**. Les enchères à valeur commune sont des enchères pour lesquelles les items sont achetés en vue de les revendre sur des marchés secondaires. Les participants misent alors en fonction de leur évaluation, mais également en fonction des évaluations anticipées des autres participants. Dans les enchères à valeur privée, les items sont achetés pour une consommation personnelle et non dans le but de les revendre. Chaque participant mise selon sa propre évaluation du bien qui est indépendante de celle des autres. Dans le cadre du projet GAMME, ce sont essentiellement les enchères à valeur privée qui font l'objet de recherches.

Ensuite, il est important de faire la distinction entre une **enchère simple** et une **enchère double** et entre les **enchères simultanées** et les **enchères séquentielles**. Dans une enchère double (two-sided auction), les acheteurs et les vendeurs misent en même temps. Une enchère simple (one-sided auction) est une enchère où seulement les mises d'un côté du marché sont permises, c'est-à-dire qu'il n'y a que les vendeurs ou que les acheteurs qui misent. L'offre ou la demande est agrégée avant le début de l'enchère. C'est le commissaire-priseur qui s'occupe de gérer la demande ou l'offre agrégée au nom de ceux qu'il remplace.

La distinction entre les enchères séquentielles et les enchères simultanées est nécessaire lorsqu'il y a plus d'une unité d'un seul bien (**enchère multi-unitaire**) ou plus d'un bien (**enchère multi-item**) dans l'enchère. Une enchère séquentielle est une enchère au cours de laquelle les unités d'un même bien ou des biens (items) différents sont vendus les uns après les autres. Une enchère simultanée est une enchère dans laquelle les unités ou les items sont vendus en même temps, c'est-à-dire que les mises sont toutes faites au même moment et les prix et les quantités sont fixés à la fin de l'enchère seulement. En effet, les participants ont un certain temps pour envoyer leur mise et c'est seulement à la fin du temps imparti et/ou d'un délai d'inactivité que le ou les gagnants sont annoncés. On peut parler d'enchère simultanée même s'il n'y a qu'un seul bien dans l'enchère.

2.2 Enchères doubles

Dans une enchère double, les vendeurs et les acheteurs soumettent leur mise en même temps [Domowitz 92]. Les mises des vendeurs sont classées en ordre croissant tandis que les mises des acheteurs sont classées en ordre décroissant. Le profil des offres et des demandes est ainsi établi. À partir de ce profil, les quantités échangées peuvent être déterminées par un processus de jumelage (matching) entre les offres d'achat et de vente. Les plus basses offres de vente sont jumelées aux plus hautes offres d'achat jusqu'à ce que l'offre égale la demande. C'est à ce point, le point d'équilibre entre l'offre et la demande, que le prix est fixé.

Lorsqu'un marché utilise une enchère double **continue** (continuous double auction), les transactions s'effectuent dès que les offres d'achat et de vente se croisent, c'est-à-dire qu'il est nécessaire que le prix de l'offre d'achat situé au plus haut niveau de la liste (selon les règles de priorité en vigueur) soit égal ou supérieur à celui de l'offre de vente également situé au plus haut rang de la liste. Le prix est donc déterminé selon le flux d'offres et les règles de priorité. Le marché des contrats à terme de Chicago est un bel exemple d'enchère double continue [Domowitz 90] tout comme la bourse de New York (New York Stock Exchange).

Déroulement des enchères doubles continues dans le marché des contrats à terme de Chicago

D'abord, les participants font parvenir leur *mise* qui contient le type de contrat offert ou demandé, le prix de vente ou d'achat et les quantités (primaires et secondaires) offertes ou demandées. L'heure à laquelle les mises admissibles ont été faites est enregistrée.

Les mises sont alors classées selon *l'ordre de priorité* suivant : prix d'achat du plus haut au plus faible, prix de vente du plus faible au plus haut, ensuite les mises avec un même prix d'achat ou de vente sont classées en ordre de temps, c'est-à-dire la mise enregistrée la première sera la première traitée, puis les quantités primaires sont satisfaites en priorité, sauf si les quantités secondaires sont demandées avec un prix plus élevé.

Pour qu'une transaction s'opère, certaines *conditions d'échange* doivent être remplies. Il faut un ordre d'achat et un ordre de vente. Les ordres doivent porter sur le même type de contrat. Le prix d'achat doit être supérieur ou égal au prix de vente. L'échange dure jusqu'à ce que l'offre soit écoutée ou bien jusqu'à ce qu'aucune demande ne corresponde à l'offre.

Si les conditions d'échange sont remplies, *le prix et les quantités* sont alors déterminés. L'acheteur paie le prix qu'il a proposé. Les quantités primaires sont d'abord satisfaites, puis les quantités secondaires si l'offre le permet.

Les *informations disponibles* dans ce marché sont : la meilleure offre et la meilleure demande assortie de leur quantité respective, le dernier prix de vente et les quantités vendus à ce prix, les prix sur le marché au comptant et la liste des ordres (mises) actuellement en vigueur dans le système.

Le concept d'enchère double où les acheteurs et les vendeurs ont accès au marché en même temps, est un concept général. En effet, une enchère simple peut être vue comme une enchère où le commissaire-priseur « remplace » soit les vendeurs ou les acheteurs.

2.3 Enchères simples séquentielles

• Enchère hollandaise ou à prix descendant

Un bien est mis en vente par le commissaire-priseur à partir d'un prix initial. Si personne ne mise après un certain délai, le commissaire-priseur offre le bien de nouveau avec un prix plus bas ou plus haut selon qu'il veut vendre ou acheter le bien. Le bien est attribué au premier participant qui mise. Ce type d'enchère est utilisé entre autres dans les Pays-Bas pour vendre des fleurs.

• Enchère anglaise ou à prix ascendant ou « open-outcry auction »

Un bien est mis en vente par le commissaire-priseur à partir d'un prix initial. Si un ou plusieurs participants misent, le commissaire-priseur offre le bien de nouveau avec un prix plus élevé ou plus bas selon qu'il veut vendre ou acheter. Si aucune nouvelle mise ne s'ajoute après un délai, le bien va au meneur, le participant qui a remporté la mise dans la période précédente. Ce type d'enchère est communément utilisé pour vendre des objets d'art, du vin et plusieurs autres biens. Une variante bien connue de l'enchère anglaise est l'enchère appelée « open-exit auction ». Un bien est mis en vente par le commissaire-priseur à partir d'un prix initial comme dans l'enchère anglaise traditionnelle. Au début, tous les participants sont dans l'enchère. Cependant, le prix augmente continuellement et les participants doivent annoncer qu'ils se retirent lorsque le prix est trop élevé au lieu d'annoncer leur mise. Lorsqu'un participant abandonne, il est éliminé de l'enchère.

Les enchères hollandaise et anglaises sont des types d'enchère qu'on pourrait qualifier de « base » car, comme on pourra le constater, bon nombre d'autres mécanismes d'enchères ont été élaborés à partir des mêmes principes.

• Enchère mixte

L'enchère mixte est une enchère hollandaise suivi d'une enchère anglaise. Ce type d'enchère est utilisé dans l'Encan Électronique du Porc [Noël 97], unique marché électronique intelligent connu au Québec.

Déroulement des enchères mixtes de l'Encan Électronique du Porc

Les enchères ont lieu quotidiennement sous la supervision de la Fédération des producteurs de porcs du Québec. Avant chaque enchère, les producteurs doivent communiquer la quantité de porcs qu'ils désirent vendre. Ils doivent également préciser l'abattoir envers qui ils s'engagent à livrer, à leur frais, leurs porcs, le nombre de livraison qu'ils feront, le nombre de porcs par livraison et l'heure de chaque livraison.

Ensuite, la Fédération détermine la quantité de porcs qui sera pré-attribuée et la quantité qui sera mise en vente aux enchères par lot fictif de 150 porcs. Le prix des porcs pré-attribués est calculé à partir de prix de marchés américains et ramené en dollars canadiens.

Le prix de départ du premier lot est fixé au prix des porcs pré-attribués. Le prix diminue de 0,20\$/100 kg à chaque trois secondes jusqu'à ce qu'un premier acheteur se manifeste. À ce moment, les autres ont trois secondes pour renchérir le prix de 0,10\$/100 kg. Le gagnant du lot est celui qui mise le plus haut. Le lot suivant est alors mis en vente immédiatement avec un prix de départ égal au prix de vente du lot précédent.

À partir des informations données par les producteurs et des résultats des enchères, la Fédération établit l'horaire de livraison de façon à minimiser les coûts de transport global, à l'aide d'un algorithme de recherche opérationnelle. Puis, une fois livrés et abattus, les porcs sont pesés et classés et une copie de la classification est envoyée à la Fédération. Le prix unitaire payé par les acheteurs est la moyenne des prix de leurs mises gagnantes. Le prix unitaire versé aux producteurs est le prix moyen obtenu de tous les acheteurs pour les enchères de la semaine. Les prix sont ajustés selon le poids et l'indice de classement des bêtes

• La Vickrey ascendante

D'abord les vendeurs doivent soumettre les quantités et leur prix de réserve. L'offre est organisée en ordre croissant de prix de réserve. Les unités sont alors mises en vente à partir d'un prix initial et le prix monte progressivement. À chaque prix, les acheteurs doivent signaler les quantités désirées. Un acheteur obtient une unité dès que la demande des autres acheteurs devient inférieure à l'offre totale pour ce prix. L'acheteur paie les unités obtenues au prix où il a obtenu ces unités. Le mécanisme s'arrête lorsque l'offre totale égale la demande. L'enchère de Vickrey est une enchère relativement nouvelle qui s'est révélée être très efficace.

2.4 Enchères simples simultanées

• Enchère simultanée ouverte vs fermée

On peut différencier deux types d'enchères simultanées : les enchères simultanées fermées et les enchères simultanées ouvertes. Dans une enchère simultanée fermée, aucune information n'est donnée aux participants pendant la période de mise. Les participants ne connaissent pas les mises des autres et ne peuvent pas modifier leur mise au cours de cette période. Dans les enchères simultanées dites « ouvertes », les mises sont affichées au fur et à mesure de leur arrivée. Dans certains cas, il est alors possible pour un participant de modifier sa mise.

• Enchère simultanée discriminante vs non-discriminante

On peut aussi différencier les enchères simultanées selon le prix payé par les gagnants. On appelle enchère discriminante ou enchère du premier prix l'enchère dans laquelle le ou les participants paient le montant de leur mise. À l'opposé, on appelle enchère non-discriminante ou enchère du second prix l'enchère pour laquelle un participant paie seulement le montant de la plus haute mise rejetée ou de la plus basse mise gagnante.

• Enchère simultanée *multi-unitaire*

Onsale

Onsale, le plus important et le plus complexe des sites offrant de la marchandise sur le Web par le biais de ventes aux enchères, utilise des algorithmes d'**enchères simultanées ouvertes discriminantes et non-discriminantes** pour vendre plusieurs unités d'un même bien (enchère multi-unitaire). Ces enchères peuvent durer de quelques minutes à quelques jours. Ils ont établi des *règles de priorités* pour classer les mises, soit le prix, la quantité et le temps ainsi qu'une *règle de fin d'enchère*. En d'autres termes, les mises sont classées en ordre décroissant de prix et de quantité ainsi que de la plus ancienne à la plus récente. De plus, l'enchère se termine à un moment fixé d'avance si aucune mise n'a été reçue cinq minutes avant ce moment, sinon l'enchère continuera et se terminera cinq minutes après avoir reçu la dernière mise.

Tâtonnement

Ce mécanisme consiste à chercher le prix qui égalise l'offre et la demande par « tâtonnement ». Les participants soumettent leur offre et leur demande (*vecteur de quantité et de prix*). Avec ces informations, on peut déterminer l'offre et la demande agrégée et identifier le prix et la quantité d'équilibre du marché. On informe ensuite chaque participant de la quantité qu'ils ont obtenu et à quel prix. Le prix de chaque item étant fixé au prix d'équilibre. Ils ont alors le *droit de modifier leur mise* s'ils le désirent. Ils ne peuvent cependant qu'augmenter leurs quantités annoncées précédemment et ce autant les vendeurs que les acheteurs. Après une première modification des mises, l'équilibre entre l'offre et la demande est alors recalculé et les nouvelles quantités allouées à chacun ainsi que le nouveau prix d'équilibre sont annoncés. On reprend ce processus jusqu'à ce que plus personne ne veuille modifier sa mise. Des expériences en laboratoire ont démontré que ce mécanisme convergeait très rapidement vers le « vrai » prix d'équilibre. Ce type d'enchère pourrait éventuellement être utilisé dans un marché électronique intelligent pour les copeaux de bois.

• Enchère simultanée *multi-item*

Swiss Auction

L'**enchère suisse** (Swiss Auction) est quant à elle une **enchère simultanée fermée discriminante avec droit de retrait** utilisée pour les appels d'offre en Suisse. Dans ces enchères, plusieurs contrats différents sont alloués (enchère multi-item). Le droit de retrait permet sous certaines conditions, par exemple que la différence entre la mise gagnante et la deuxième plus haute mise ait un écart d'au plus 10%, ou que le gagnant remporte d'autres mises sur d'autres produits de l'enchère simultanée, à un gagnant qui dépasse sa capacité de production de se retirer. L'expérience montre que cela génère une plus grande agressivité de la part des participants.

Enchères de la FCC

Des **rondes d'enchères simultanées ascendantes discriminantes ouvertes** ont été utilisées en juillet 1994 pour la mise en vente des droits sur les fréquences de téléphones cellulaires par la Federal Communications Commission [Cramton 94]. Notons que les enchères multi-items (multi-produits) visent à vendre des biens différents. Souvent ces biens sont économiquement ou techniquement reliés par un réseau de contraintes. Dans cette enchère, chaque cellule était mise en vente individuellement, cependant il était clair qu'un acheteur avait tout intérêt à opérer des cellules proches. La vente a duré cinq jours et a permis au gouvernement américain de récolter 617 millions pour dix licences, soit dix fois plus qu'il avait été estimé. Une ronde d'enchères simultanées ascendantes discriminantes ouvertes est similaire à une enchère traditionnelle anglaise sauf qu'au lieu de vendre les items les uns après les autres, les items sont vendus tous en même temps.

Déroulement des rondes d'enchères de la FCC

Lors de chaque ronde, les participants doivent faire parvenir leur *mise* en mentionnant le prix qu'ils offrent pour chaque licence. Les participants doivent respecter le nombre de licence pour lequel ils ont le droit de miser, l'incrément minimum fixé par la FCC qui varie d'une ronde à l'autre et le temps alloué pour miser.

Les participants ont un *droit de retrait*, c'est-à-dire qu'il est possible d'annuler une mise qui fait partie des plus hautes

mises. Cependant, il y a des *pénalités* rattachées à ce genre de pratique.

Les mises sont ensuite regroupées par licence, puis classées en *ordre de prix* du plus élevé au plus faible. On ne retient alors que la plus haute mise faite sur chaque licence.

Une *règle d'activité* a été établie afin de forcer les gens à participer tout au long de l'enchère. En effet, l'enchère a été séparée en deux stages. Lors du premier stage, les participants doivent miser sur au moins une licence à chaque ronde. Dans le deuxième stage, les participants doivent miser sur le maximum de licence qu'ils désirent acquérir et pour lesquelles ils ont déjà placé une mise au cours d'une ronde précédente. D'où le nombre de licence sur lesquelles ils misent lors du deuxième stage ne peut pas augmenter d'une ronde à l'autre.

À la fin d'une ronde, on transmet alors les *informations* suivantes aux participants : les mises les plus hautes de la ronde courante avec le numéro d'identification des participants qui les ont faites.

Pour que l'enchère se termine et que les transactions s'opèrent, la *condition d'échange* doit être remplie, soit aucune nouvelle mise au cours d'une ronde.

Lorsque l'enchère est terminée, les *prix* et le gagnant de chaque licence sont alors déterminés. Le prix est fixé au montant de la plus haute mise pour chaque licence. Il y a cependant une *règle qui favorise la participation des entreprises dirigées par des femmes ou par des minorités* qui se voient accorder une réduction de prix.

BICAP (Binary Conflict Ascending Price)

Le BICAP est un mécanisme d'**enchère simultanée ascendante discriminante ouverte et en temps continu** proposé pour gérer le réseau de chemin de fer en Suède [Brewer & Plott 96]. On vend donc aux enchères l'accès à une partie (une route) du réseau ferroviaire suédois (enchère multi-item). Le problème est que le réseau peut être séparé en plusieurs routes différentes, mais que toutes ces routes ne sont pas nécessairement compatibles entre elles, c'est-à-dire qu'il ne peut pas y avoir deux trains utilisant le même tronçon en même temps ou des trains qui se croisent, etc. Les routes sont allouées de façon à éviter ces conflits. Il y a donc plus de routes mises en vente que de routes effectivement allouées.

Déroulement de l'enchère BICAP

Les participants misent sur la ou les routes de leur choix. À la fin de l'enchère, les mises les plus élevées sont les gagnantes. Lorsqu'une nouvelle mise est faite sur une route, si elle est plus haute que la mise précédente faite sur la même route, elle devient la mise potentiellement gagnante et l'allocation optimale des routes est recalculée en tenant compte de cette nouvelle mise. L'allocation optimale des routes est déterminée de façon à maximiser le montant des mises. Cette allocation est annoncée aux participants ainsi que les mises sur chaque route. Si aucune nouvelle mise n'est faite sur aucune route au cours d'une période de temps fixée à l'avance, la dernière allocation optimale sera alors déclarée gagnante et les gagnants seront ceux qui auront fait les plus hautes mises sur les routes faisant parties de cette allocation.

AUSM (Adaptative User Selection Mechanism)

Le mécanisme appelé AUSM, qui est très **similaire au BICAP**, est proposé pour les cas où il y a plusieurs items à vendre qui sont de forts compléments [Brewer & Plott 96]. Comme dans le cas précédent, les participants désirent diverses combinaisons de ces items. Leur mise se compose d'un *prix s'appliquant à une combinaison d'items (packaging)*, le prix de chaque item individuel n'étant pas spécifié. On ne retient donc que les mises faisant partie de l'allocation optimale, les autres sont rejetées. Dans le BICAP, toutes les mises sont gardées jusqu'à la fin de l'enchère, qu'elles fassent partie de l'allocation optimale ou non et les participants doivent miser sur chaque item individuellement.

2.5 L'optimisation des flux

La détermination des échanges nets est un des résultats de l'enchère. Un deuxième objectif cherche à calculer le meilleur flux du transport pour trouver les échanges bilatéraux. Dans le cas du marché du porc, la répartition du flux du transport

se fait après l'enchère, par des algorithmes classiques d'optimisation, et le coût du transport entre les régions est assuré par le marché. Dans le cas où le coût du transport entre un vendeur et un acheteur est assuré individuellement, il faut alors inclure dans l'enchère une matrice de liaison, et chaque pas de l'enchère devra moduler les prix en fonction du pairage optimal entre un acheteur et un vendeur. En plus des contraintes au niveau du transport, il sera possible d'inclure éventuellement d'autres contraintes dans le système telles que les exigences de qualité, etc.. Le problème d'optimisation dynamique et stochastique dans les enchères ouvre un nouveau secteur de recherche très prometteur. C'est ce volet qui différencie un marché électronique d'un marché électronique **intelligent**.

3. Les messages d'un marché

Trois catégories de messages sont échangés entre les participants d'un marché :

1. L'offre publique résumant l'état du marché;
2. L'ordre d'achat ou de vente d'un agent du marché;
3. La transaction.

Examinons leurs caractéristiques plus en détails.

3.1 La cote publique résumant l'état du marché

Ce message présente l'état du marché et la cote publique à tous les participants. Dans une enchère, ce message contient :

- a) le type de mécanisme d'enchère;
- b) le côté de l'enchère : le commissaire-priseur vend ou achète;
- c) le nombre de participants inscrits ou actifs;
- d) un sommaire de l'offre du commissaire-priseur;
 - la quantité et le prix du bien offert;
 - le moment de l'expiration de l'offre;
 - la quantité du solde des unités offertes, dans une enchère multi-unitaire;
- e) un sommaire des mises compétitives;
 - prix et quantités du ou des leaders à battre;
- f) un sommaire des transactions du marché;
 - prix, quantités, moyennes, etc.

Ce message s'insère bien dans un protocole de groupe « multicast », du serveur aux participants. Deux techniques sont disponibles pour faire un protocole de groupe : chaque client interroge le serveur et attend sans blocage une réponse ou chaque client écoute perpétuellement tous les messages sur un « fil commun ». Pour les petits nombres de participants, le premier modèle convient parfaitement. Pour les grands nombres de participants, il faut alors recourir à un protocole de groupe spécialisé auquel les participants s'abonnent.

Les participants d'un marché veulent très rapidement être informés d'un changement. Pour cette raison ce protocole de groupe est souvent associé à un protocole des mises à jour (un « ticker protocol ») ne reflétant que les changements dans la cote d'un marché.

Le projet GAMME utilise un protocole de groupe simple, où chaque client attend sans blocage un message de mise à jour.

3.2 L'ordre d'achat ou de vente d'un agent du marché

Ce message contient un ordre d'achat ou de vente, une mise. Il contient en tout ou en partie :

- a) le nom du produit;
- b) le coté : ordre d'achat ou de vente;
- c) la quantité et le prix désiré;
- d) le temps d'expiration de la mise, si désiré;
- e) le pairage : l'offre du côté opposée auquel l'ordre répond;
- f) l'identité signée du participant.

Ce message est initié par un agent acheteur ou vendeur et est destiné au serveur du marché. Ce message est un échange synchrone avec le serveur, le client attend une confirmation de réception après l'envoi du message.

Ce message est privé et doit être signé et authentifié. Les techniques standards d'authentification et d'encodage offertes par les certificats X.509v3, les répertoires d'identités LDAP et le protocole SSL sont utilisées à travers les services d'un fouineur universel : Netscape ou Internet Explorer.

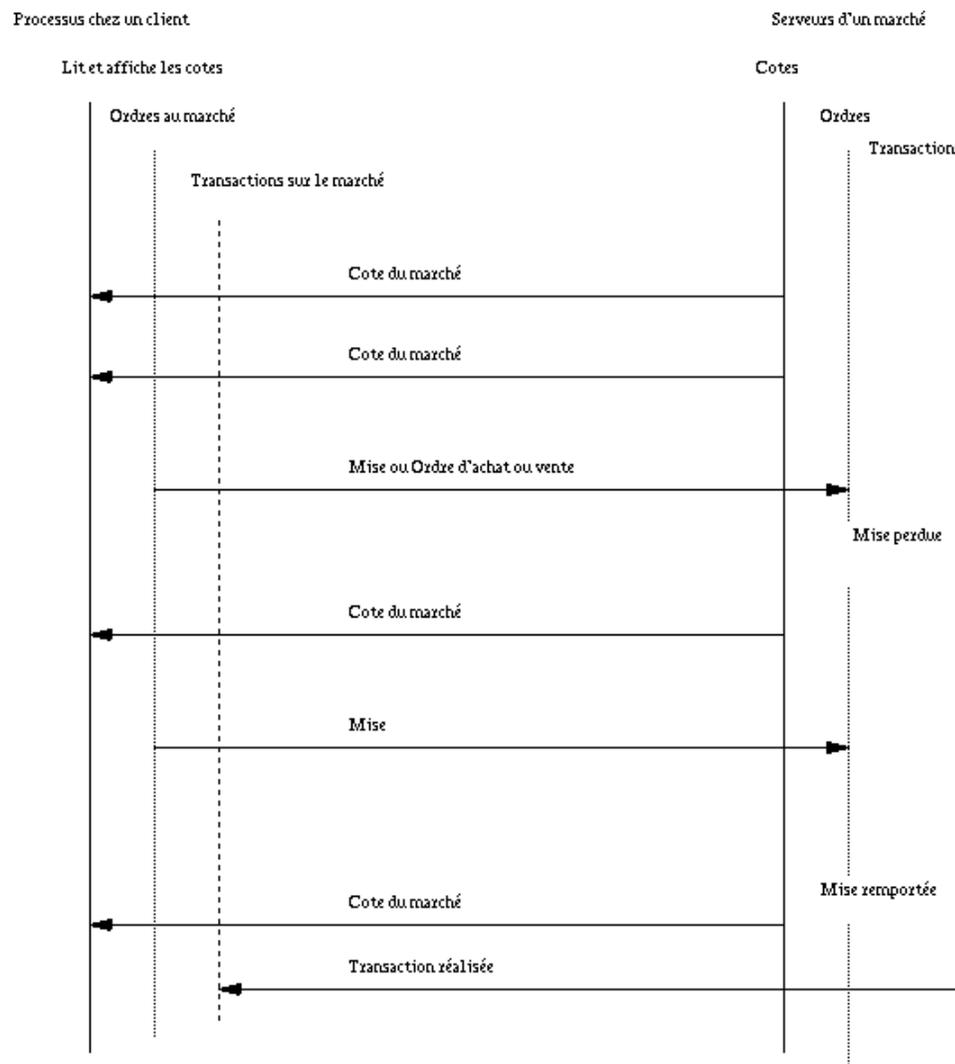


Figure 2 : « Les trois messages d'un marché »

3.3 La transaction

Ce message asynchrone est initié par le serveur à quelques agents et répond à un ordre d'achat ou de vente précédemment émis. Il contient entre autres :

- a) le nom du produit;
- b) l'identité de l'acheteur et du vendeur;
- c) la quantité et le prix transigé;
- d) la signature du commissaire-priseur;
- e) tout autre information financière.

Ces messages peuvent utiliser un protocole d'interrogation qui sera utilisée après un événement comme un changement de cote, la fin de l'enchère ou la fermeture du marché.

3.4 Les événements dans un marché générique

Les événements d'un marché sont illustrés à la figure 3. Ceux reçus par un serveur de marchés sont :

- a) Création et destruction d'un marché;
- b) Ouverture et fermeture d'un marché;
- c) Arrivée d'un ordre d'achat ou de vente, d'une offre ou d'une mise;
- d) Pairage d'un nouvel ordre avec un ordre déjà existant;
- e) Non pairage d'un nouvel ordre;
- f) Expiration d'un ordre (offre ou mise) existant.

Le serveur de marchés génère les transactions nettes et brutes et les cotes du marchés. Du côté du client, les événements reçus sont plus restreints :

- a) les cotes du marché;
- b) ses transactions.

Évidemment, le client génère ses ordres aux marchés. En particulier, les événements d'un marché lors d'une enchère sont :

- a) Au début de l'enchère, les offres sont cumulées dans un ensemble d'offres dormantes. Dorénavant, c'est le commissaire-priseur qui génère les offres au nom des offres cumulées;
- b) À l'expiration d'une offre et selon le mécanisme d'enchère, soit le commissaire-priseur fait une nouvelle offre, soit il proclame le ou les leaders gagnants;
- c) Dans ce dernier cas, il enregistre la transaction et il fait l'enchère suivante.

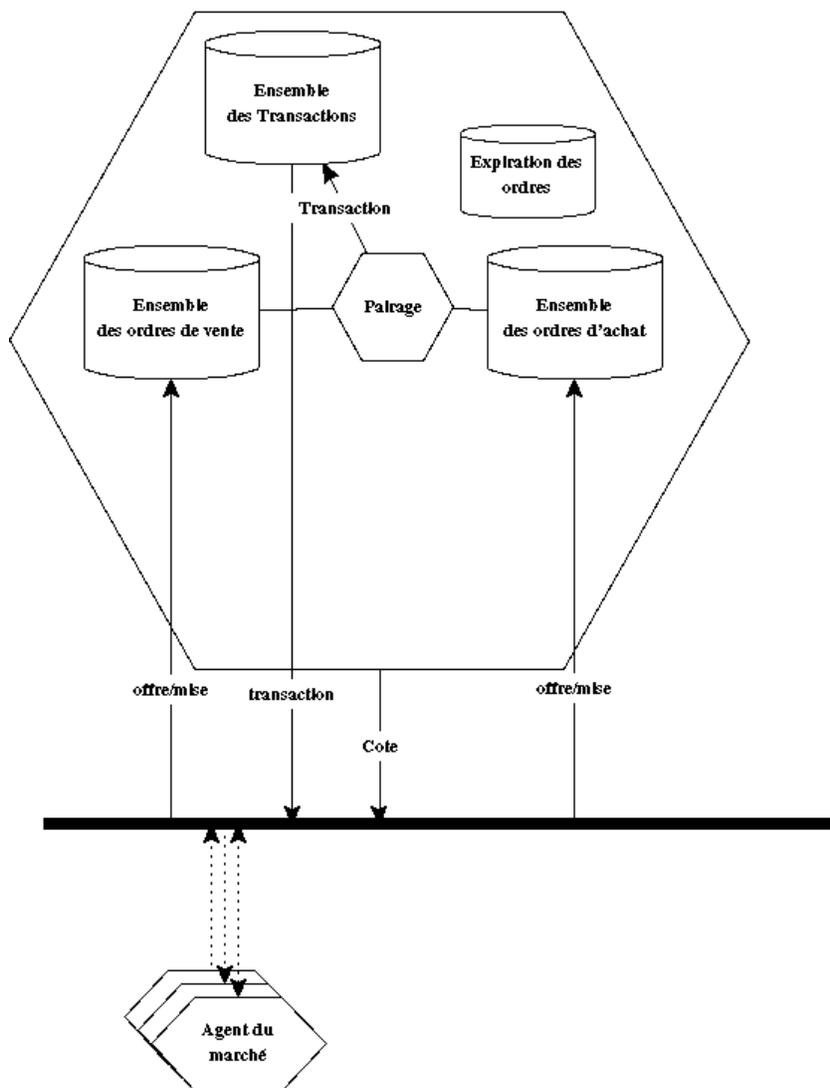


Figure 3 : « Les événements d'un marché »

3.5 La réalisation d'un mécanisme de marché en Java

Le système GAMME est illustré à la figure 4. Les modules sont écrits en Java 1.1 [Gosling 96] à l'intérieur d'un logiciel navigateur comme Netscape 4.0 ou Internet Explorer 4.0 et les services d'identifications et d'encodages fournis par ceux-ci.

Pour un maximum de flexibilité nous utilisons Java 1.1 autant pour les modules clients que pour le serveur de marchés. Les messages et protocoles entre les clients et les serveurs utilisent le standard des « Remote Method Invocation » (RMI) de Java 1.1. Le système RMI gère le fil d'exécution maître du serveur et envoie chaque requête dans un fil d'exécution autonome. Enfin il sérialise l'objet message envoyé entre un client et un serveur.

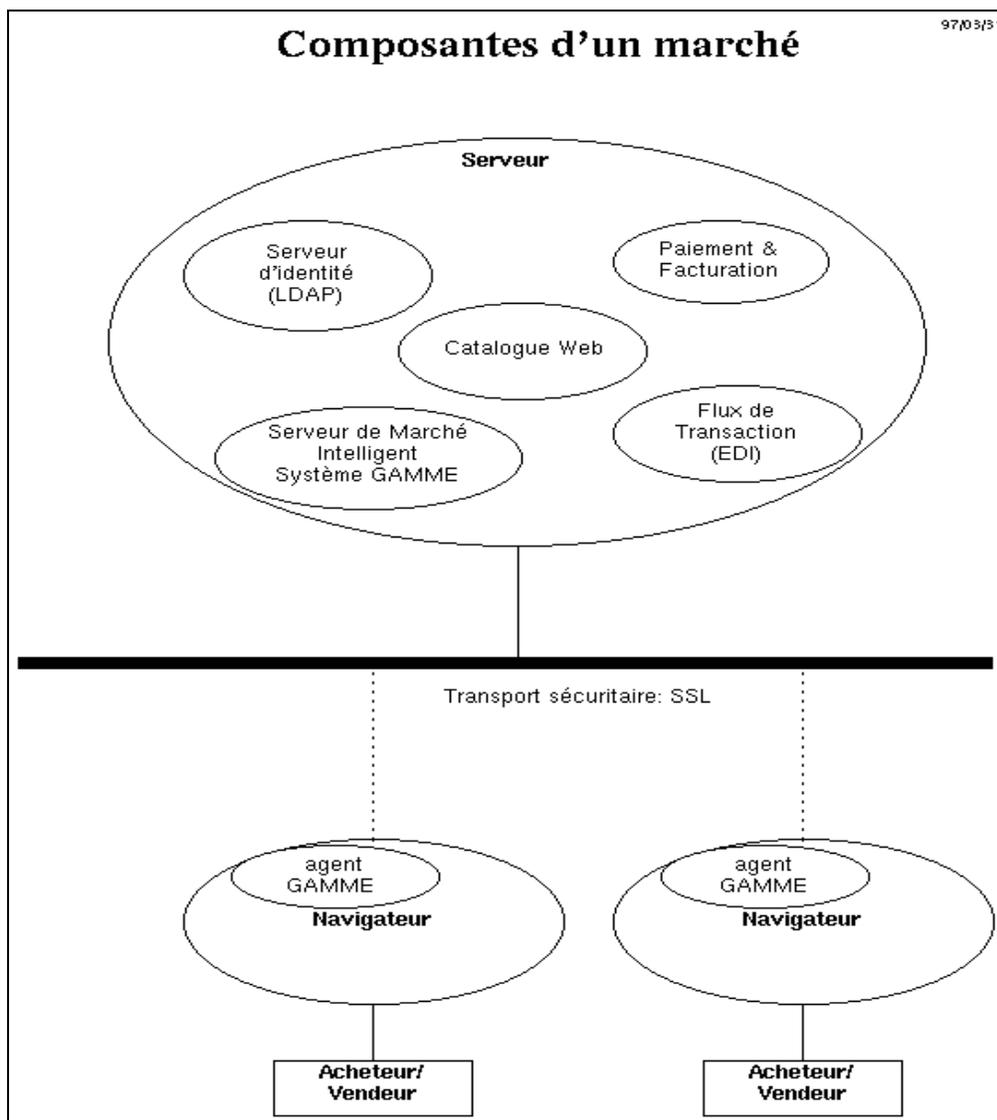


Figure 4 : « Composantes d'un marché électronique »

Pour des raisons de performances et de flexibilité, il peut être nécessaire de démarrer un serveur par marché. Ces serveurs peuvent s'exécuter sur des systèmes différents dans un parc d'ordinateurs. A l'inverse, pour des raisons d'économies, on peut vouloir n'avoir qu'un seul serveur pour une grande variété de marché. Le registraire de RMI nous permet d'associer au nom d'un marché l'instance de l'objet serveur qui dessert ce marché.

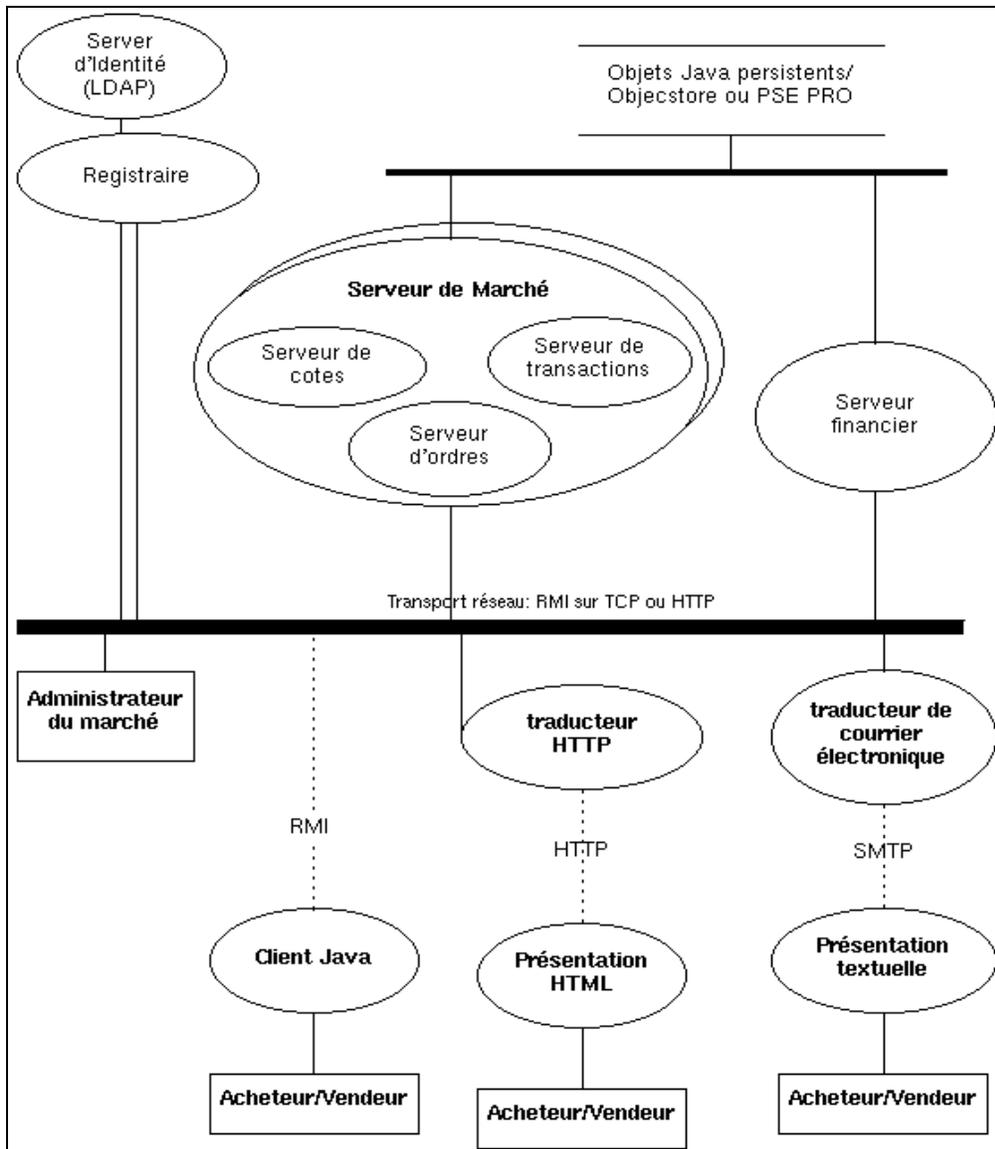


Figure 5 : « Architecture générique de GAMME »

3.6 Instantiations des clients et des serveurs selon les mécanismes de marchés

Pour chaque marché, on trouve par le registraire de RMI le serveur du marché ainsi que le nom du mécanisme du marché. Ce nom de mécanisme de marché nous permet d'instancier dynamiquement les classes et les algorithmes spécifiques au marché, autant pour les serveurs que les clients en passant par un constructeur générique, la « Factory ». Une méthode de « Factory », « build() » construit soit un client spécifique, soit un serveur spécifique. Nous avons là un bel exemple d'objets dynamiquement construits à travers un réseau! On y savoure la force de Java.

Chacun de ces objets spécifiques est, selon le mécanisme de marché ou d'enchère, dérivé d'une classe mère. Celle-ci spécifie les méthodes reflétant les événements du marché. Le cadre serveur ou client connaît donc les méthodes qu'il peut appeler à chaque événement. La tâche de programmer les mécanismes d'un marché revient donc à programmer ces classes dérivées.

3.7 Déroulement simplifié d'une enchère réalisée avec le système GAMME

Le système a été conçu de façon général pour pouvoir éventuellement servir à conduire un très grand nombre de mécanismes d'enchères. Or, tous les mécanismes d'enchères cités à la section 2 comportent les trois types de messages mentionnés précédemment soient, une cote publique résumant l'état du marché, des ordres d'achat et/ou de vente et des transactions. Ces trois messages contiennent toujours le même type d'information (voir sections 3.1, 3.2, 3.3), mais l'information contenue varie d'un mécanisme d'enchère à l'autre. Ces messages sont liés entre eux par les événements cités à la section 3.4, qui eux aussi sont communs à tous les types d'enchère. C'est la façon dont les messages et les événements sont définis qui détermine le type d'enchère du marché.

Nous pouvons illustrer plus simplement le déroulement d'une enchère à l'intérieur du système GAMME de la façon suivante. Au début de l'enchère, l'instigateur du marché, communément appelé le commissaire-priseur, doit démarrer le serveur de marchés qui lui démarre le serveur de cotes, le serveur d'ordres et le serveur de transactions. Ces quatre serveurs forment la base du système utilisé pour réaliser n'importe quel type d'enchère.

Le commissaire-priseur demande ensuite au serveur de marchés de créer un marché spécifique. Une méthode de construction particulière à ce marché (la méthode de « Factory » mentionnée à la section 3.6) est alors utilisée pour créer le MarketData qui contiendra l'état du marché et ses propriétés c'est-à-dire tout ce qui lui est spécifique (les règles). C'est à ce niveau que la programmation des différents mécanismes s'effectue. Les données du marché sont conservées dans le « MarketData », qui forme le marché spécifique créé par la Factory, et sauvegardées dans la base de données.

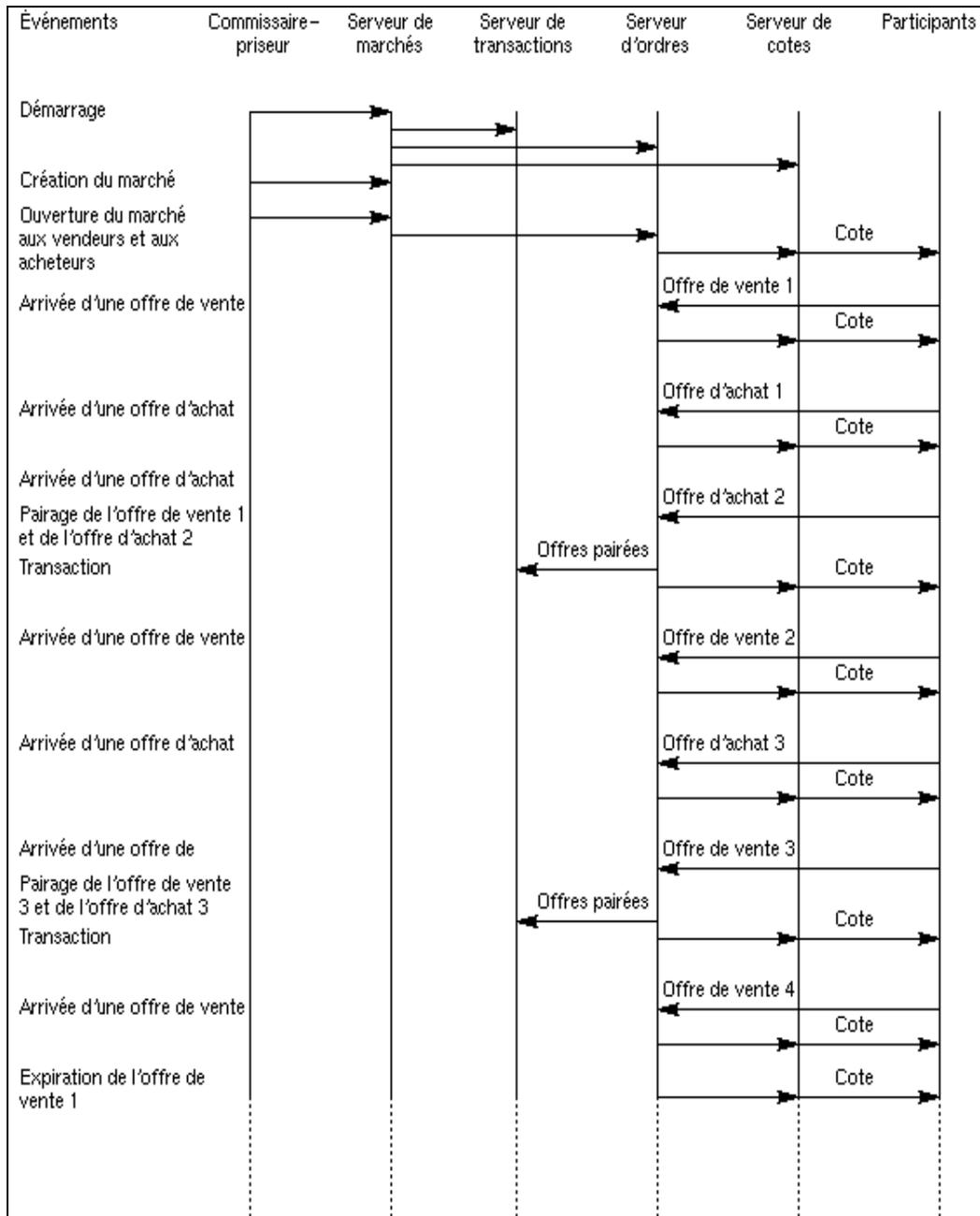
À la demande du commissaire-priseur, le serveur de marchés ouvre le marché aux vendeurs ou aux acheteurs dans le cas d'une enchère simple et aux deux groupes dans le cas d'une enchère double. Lors d'une enchère simple, on ouvre d'abord le marché aux vendeurs par exemple, pour recueillir toutes les offres de vente. Celles-ci sont recueillies par le serveur d'ordres. Puis, toujours à la demande du commissaire-priseur, le serveur de marchés ferme le marché aux vendeurs et ouvre le marché aux acheteurs pour débiter l'enchère et permettre l'arrivée des ordres d'achat. Dans le cas d'une enchère double, les ordres de vente et d'achat arrivent en même temps. Le serveur d'ordres, selon les instructions spécifiques contenues dans le MarketData, gère les ordres d'achat et de vente.

À chaque nouvel ordre, le serveur d'ordres vérifie s'il y a pairage d'une mise et d'une offre de vente. Si oui, il appelle la méthode de pairage spécifique du MarketData qui s'occupe de faire ce qu'il faut (augmentation ou diminution du prix, transaction, etc.). S'il doit y avoir une transaction, le serveur d'ordres passe au serveur de transactions les deux ordres (ordre d'achat et de vente) pairés. Le serveur de transactions effectue alors la transaction selon les règles du MarketData.

Tout au long de l'enchère, le serveur de cotes rend public l'information du marché constamment mis à jour par le serveur d'ordres et le serveur de marchés, soit la cote publique du marché telle que définie à la section 3.1.

Le déroulement des enchères double, mixte et simultanée sont illustrées dans les figures 6, 7 et 8.

Figure 6 : « Déroulement de l'enchère double continue »



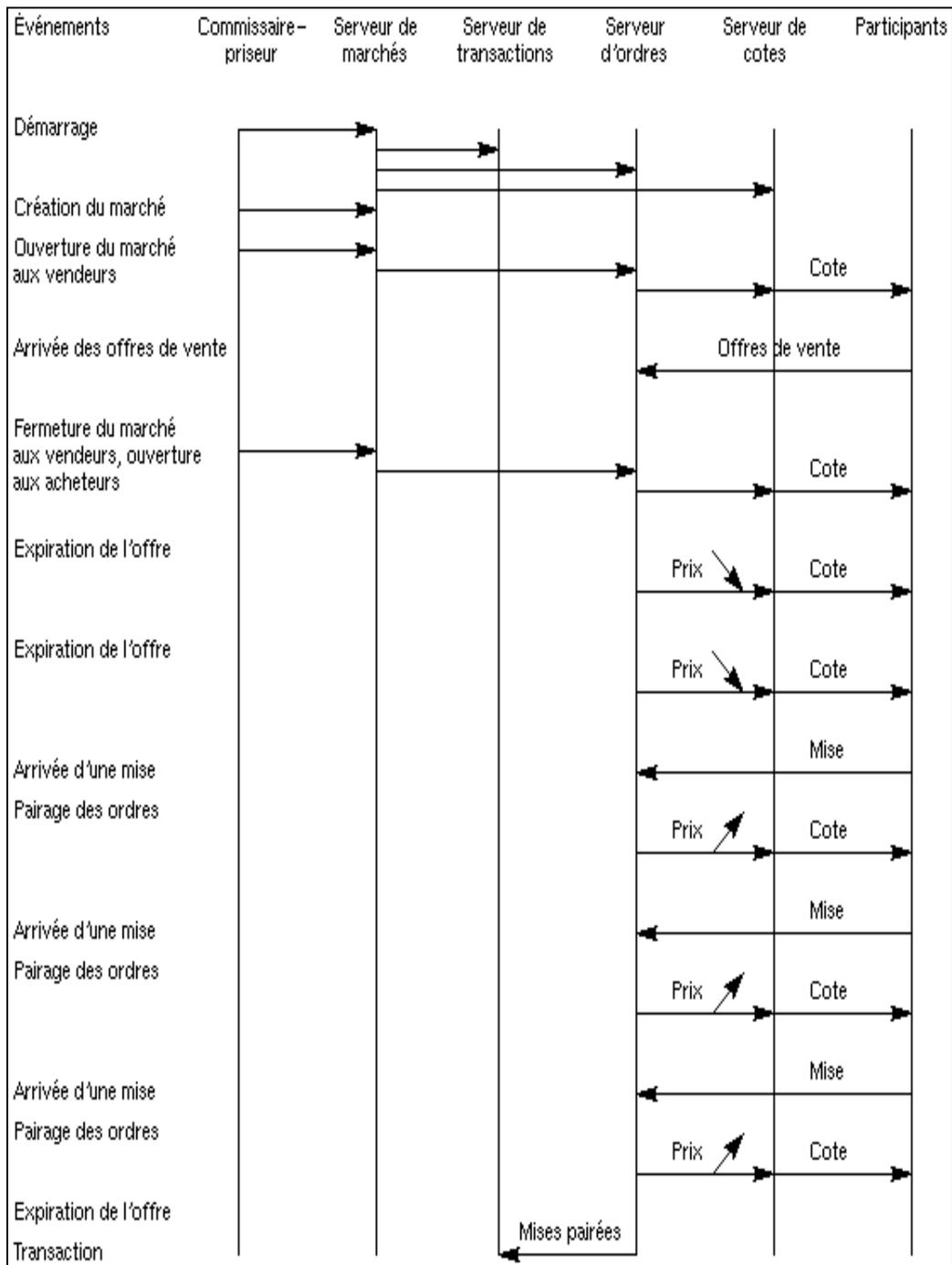


Figure 7 : « Déroulement de l'enchère mixte »

3.8 Marché en temps réel versus marché en temps différé

Les délais de réaction d'un marché peuvent varier de quelques dixième de secondes à plusieurs jours. Donc toutes les informations doivent être disponibles sous deux protocoles : une version en temps réel, une version accessible en temps différé par interrogation au serveur de marchés.

3.9 L'équité entre les participants

Le besoin d'équité entre les messages des participants est une conditions exigée par les algorithmes économiques. En effet certains algorithmes économiques ont des règles qui dépendent du temps telles que « le premier qui mise », « les ordres d'achat ou de vente devront être reçus avant tel jour, telle heure », etc. Le problème est que les délais du réseau sont variables et les pannes du réseau peuvent n'affecter qu'un sous-groupe de participants.

La solution au délai réseau variable est de rendre le temps discret et à l'intérieur d'un délai d'équité, les messages reçus sont alors réputés équivalents et on peut tirer au hasard le « gagnant ». Cela permet de ne pas privilégier ceux qui ont une proximité réseau avec le commissaire-priseur. Ce délai d'équité peut être fixé au préalable ou être calculé dynamiquement selon le temps maximum aller-retour des messages des participants. La solution aux pannes du réseau est d'offrir des solutions de replis, soit une route « réseau » différente, ou carrément une solution technologique différente, comme le « téléphone à un centre d'opération ». Le délai d'équité devient alors le temps pour rejoindre par cette route différente un centre d'opération.

3.10 La persistance des enchères et des marchés

La première contrainte à laquelle nous devons répondre est la persistance d'un marché. En effet la durée d'une enchère peut varier de quelques secondes à quelques semaines dans le cas des appels d'offres. Pour cela les objets Java qui représentent l'état d'un marché doivent pouvoir résider sur disque et rapidement être chargés et exécutés en mémoire vive. Le système GAMME utilise la version légère de la base de données objets de ObjectStore PSE-PRO. Cet engin PSE-PRO est couplé avec la collection d'objets génériques du Java Generic Library (JGL) de ObjectSpace. Cette collection offre au programmeur des ensembles persistants ordonnés, non ordonnés, des listes associatives, des queues. Tous ces classes d'objets génériques sont utilisés dans le serveur et par les marchés persistents.

Comme chaque message reçu d'un agent du marché contient le nom du marché auquel il est destiné, le serveur de marchés peut appeler la méthode correspondante à l'événement approprié sur l'objet du marché dans la base de données. Le passage d'un mécanisme général à un mécanisme spécifique se fait donc en appelant pour un événement générique une méthode d'un objet spécifique. Cet objet contient donc les règles spécifiques de marchés.

Le mécanisme des classes abstraites en Java est utilisé pour spécifier les objets de marchés et objets commissaire-priseurs. Leurs méthodes seront appelées lors des événements d'un marché et d'une enchère.

4. Recherches futures

Le design de marchés intelligents dont le mécanismes de fixation des prix optimise les échanges étant donnés les contraintes techniques et les exigences des différents agents sur le marché, constitue le prochain défi dans ce domaine. À titre d'exemples, nous avons :

- a) la tarification de l'accès aux réseaux de télécommunications ouverts comme l'Internet;
- b) les routes de transports;

c) l'achat de produits complémentaires groupés et les économies d'échelles.

Bibliographie

- [Brewer & Plott 96] Paul J. Brewer, Charles Plott, « A Binary Conflict Ascending Price (BICAP) Mechanism for the Decentralized Allocation of the Right to Use Railroad Tracks », *International Journal of Industrial Organization*, Vol 14, pp.857-886
- [Cramton 94] Peter Cramton, « Money Out of Thin Air : The Nationwide Narrowband PCS Auction », Working Paper, University of Maryland, 1994
- [Domowitz 90] Ian Domowitz, « The Mechanics of Automated Trade Execution Systems », *Journal of Financial Intermediation*, 1990, pp. 167-194
- [Domowitz 92] Ian Domowitz and Jianxin Wang, « Auctions as Algorithms », *Journal of Economic Dynamics and Control*, 1994, pp. 29-60
- [Gosling 96] Ken Arnold, James Gosling, « The Java Programming Language », Addison-Wesley, 1996
- [Holt 95] Chales A. Holt, « Industrial Organization : A Survey of Laboratory Research », *The Handbook of Experimental Economics*, John H. Kagel and Alvin E. Roth (Editors), Princeton University Press, USA, 1995
- [Noël 97] Sylvain Noël, « Les marchés électroniques : le cas de l'Encan Électronique du Porc », 1997