

Les marchés comme systèmes de communication

Une évaluation de la performance de différentes institutions de marché à l'aide de simulations informatiques

Franck GALTIER*, François BOUSQUET**, Martine ANTONA***, Pierre BOMMEL***

*CIRAD-IDIAF (Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales), franck.galtier@cirad.fr
Centro Norte / Av. Imbert No 5 / La Vega / Rép. Dominicaine

**CIRAD-IRRI, francois.bousquet@cirad.fr

Rice Research Institut Building PO Box 9 / 159 Kasetsart Campus / Bangkhen / 10900 Bangkok / Thaïlande

***CIRAD, martine.antona@cirad.fr et pierre.bommel@cirad.fr

Campus international de Baillarguet / TA 60 - 15 / 34398 Montpellier Cedex 5 / France

Résumé – Les marchés comme système de communication, une évaluation de la performance de différentes institutions de marché à l'aide de simulations informatiques

Les célèbres travaux de F. Hayek, L. Hurwicz, J. Stiglitz, et S. Grossman ont montré que la performance des marchés dépend de leur capacité à assurer une diffusion d'information entre les agents économiques. Comme l'information se transmet par les processus de négociation et d'échange, la forme du réseau d'échange joue un rôle crucial puisqu'elle détermine l'architecture des canaux par lesquels circulent les flux d'information. Des travaux récents analysent cet aspect à l'aide d'outils mathématiques (Kirman 1983 ; Ioannides 2002) ou informatiques (Kirman et Vriend 2000 ; Kerber et Saam 2001). Le travail présenté ici se range dans la seconde catégorie. Il s'agit d'une analyse comparée de la performance de deux modes d'organisation du commerce de gros très répandus dans les filières agricoles des pays du sud : le commerce en réseau et le commerce sur des places de marché. Les simulations réalisées avec un système multi-agents (SMA) permettent de comprendre dans quels contextes chacun de ces modes d'organisation est plus performant que l'autre. Quelques implications pour les politiques publiques sont présentées ainsi que quelques perspectives pour la recherche.

1. INTRODUCTION

L'idée que les problèmes d'information des acteurs jouent un rôle déterminant sur la performance des marchés est aujourd'hui bien ancrée dans la théorie économique. Cependant, comme nous l'avons montré ailleurs, cette idée peut recouvrir des problèmes très différents [Galtier 2002b]. Pour les uns, l'information limitée des agents risque d'induire des difficultés pour la réalisation des transactions, le respect mutuel des engagements (*enforcement*) n'étant pas garanti [Williamson 1985 ; Hoff, Braverman et Stiglitz 1993]. Pour les autres, la dispersion entre les agents de l'information sur les dotations et les besoins peut conduire à une allocation des ressources inefficace [Hayek 1945 ; Hurwicz 1969 ; Grossman 1989]. Ces deux types d'approches sont complémentaires, mais jusqu'ici il n'existe pas de théorie unifiée permettant d'analyser simultanément l'ensemble des problèmes d'information. Les aspects

couverts par une approche constituent le point aveugle de l'autre [Galtier 2002b]. Nous nous intéresserons ici uniquement au problème de l'allocation des ressources dans un contexte où l'information est dispersée entre les agents économiques.

Dans une telle situation, le rôle de système de communication des marchés est mis en avant [Hayek 1945]. En effet, les prix et les autres signaux du marché assurent une diffusion de l'information entre les agents économiques. Cependant, comme les différents acteurs disposent tous au départ d'informations partielles ou même erronées, chacun risque par son comportement d'induire les autres en erreur, ce qui peut conduire à diffuser en cascade une information fautive au sein du marché. La convergence du processus d'échange vers une allocation des ressources optimale (ou pour le moins efficace) est donc incertaine [Hayek, 1937]. Plus précisément, pour assurer une certaine qualité de l'allocation des ressources, il est nécessaire que tous les individus suivent des règles déterminées. Ces règles (qu'on appelle *les institutions de marché*) déterminent la performance du marché comme système de communication. Les premiers travaux visant à analyser les performances de différentes institutions de marché en matière de diffusion de l'information et d'allocation des ressources ont porté sur des marchés centralisés « à la Walras » [Hurwicz 1969 ; Grossman et Stiglitz 1980]. Par la suite, des marchés plus complexes ont été étudiés, ce qui a conduit à une division entre les approches s'intéressant au « langage » des marchés et celles analysant leur « réseau de communication » [Galtier 2002b]. Les premières s'intéressent à l'impact des règles de négociation des différents paramètres de l'échange sur la révélation (non biaisée et non bruitée) de l'information privée des acteurs concernant leurs dotations et préférences. Cette approche a surtout été le fait de la théorie des enchères [Naegelen 1988 ; Klemplerer 1999] bien qu'elle s'applique aussi à des marchés décentralisés au sein desquels les négociations se font de gré à gré [Galtier 2002a]. L'analyse du « réseau de communication » engendré par les institutions de marché a fait l'objet de développements récents. L'idée de base de ces travaux est que comme au sein des marchés l'information se diffuse par les comportements de négociation et de transaction des acteurs, l'architecture des relations d'échange définit l'ensemble de canaux par lesquels circule l'information. La mobilisation de nouveaux outils (mathématiques ou informatiques) a permis l'analyse de la performance de réseaux de communication beaucoup plus complexes que les réseaux « en étoile » étudiés par Walras, Hurwicz, Grossman, Radner ou Debreu [Kirman 1983 ; Kirman et Vriend 2000 ; Kerber et Saam 2001 ; Ioannides 2002]. Le présent travail se range dans la seconde catégorie de travaux : il s'intéresse principalement à la performance du « réseau de communication » des marchés, les aspects concernant leur langage étant peu traités.

Nous nous intéresserons plus spécifiquement ici à deux types d'institutions de marché : les réseaux marchands et les marchés de gros. Il s'agit de deux modes d'organisation du commerce de gros extrêmement fréquents dans le monde, en particulier dans les filières agricoles des pays en voie de développement. La discussion concernant les performances relatives de ces deux institutions a des implications importantes pour les politiques publiques. En effet, les états et les agences d'aide ont tendance à favoriser les marchés de gros jugés préférables pour assurer la « transparence » du marché, renforcer la concurrence et ainsi améliorer l'allocation des ressources. Par exemple, la FAO a mené différentes actions de sensibilisation en ce sens, tandis que la Banque Mondiale ou l'Agence Française de Développement ont financé la construction de nombreux marchés de gros dans différents pays d'Afrique. Cet a priori sur la supériorité des marchés de gros a cependant été contesté par certains chercheurs qui ont mis en avant le fait que les réseaux (fondés sur des relations fidélisées de longue durée basées sur la confiance) permettent la réalisation de transactions à

distance par téléphone (ce qui évite des déplacements parfois très coûteux) et facilitent les transactions à crédit [Grégoire 1986 ; Greif 1993 ; Granovetter 1994 ; Fafchamps et Minten 2001]. Ces divers avantages permettraient de compenser les inconvénients des réseaux en matière d'opacité. Au total, il semble que les tenants des marchés de gros comme les défenseurs des réseaux s'accordent sur le fait que du point de vue de la diffusion d'information, les marchés de gros sont toujours plus performants. C'est cette idée que nous avons essayé de tester ici en analysant s'il n'existe pas des situations où les réseaux marchands s'avèrent être de meilleurs systèmes de communication que les marchés de gros. Cette analyse a été menée à partir de simulations informatiques réalisées à l'aide d'un système multi-agents (SMA).

Ce travail s'est particulièrement inspiré du cas du commerce des céréales en Afrique de l'Ouest pour lequel ces deux modes d'organisation coexistent. Ainsi, tandis qu'au Mali (et dans les autres pays du Sahel), c'est le commerce en réseau qui prévaut, au Bénin et dans d'autres pays côtiers c'est le système par les marchés de gros qui est pratiqué. Dans ces filières, l'organisation du commerce de gros revêt une importance vitale car la connexion entre les grossistes des zones de production (GP) et ceux des centres de consommation urbains (GC) déterminent les arbitrages à grande échelle entre zones excédentaires et déficitaires. C'est dire son importance pour la qualité de l'allocation des ressources et la sécurité alimentaire (en Afrique de l'Ouest, les céréales apportent l'essentiel de la ration calorique des populations).

Nous présenterons successivement l'idée générale du modèle, sa structure, les résultats des simulations et leur discussion. Nous conclurons sur la pertinence de l'outil utilisé et les perspectives de recherches ouvertes par ce travail.

2. UN MODELE DE L'ORGANISATION DU COMMERCE DE GROS

2.1. Contexte théorique et empirique

Le commerce en réseau est beaucoup utilisé par les diasporas chinoises et libanaises pour leurs échanges internationaux de produits manufacturés [Granovetter 1994]. Il est aussi très répandu en Afrique de l'Ouest notamment dans la région sahélienne pour le commerce local ou régional des produits agricoles [Grégoire 1986, Lambert et Egg 1994, Egg, Galtier et Grégoire 1996]. Cette organisation qui serait un héritage du commerce trans-saharien remonterait au moins au XIV^e siècle [Amselle 1977, Grégoire 1986]. Le commerce de gros sur des places de marchés est quant à lui extrêmement répandu dans le monde pour les produits agricoles. Dans les pays en voie de développement, il s'agit souvent de marchés de gré à gré tandis que dans d'autres régions du monde on rencontre des marchés avec enchères ascendantes ou descendantes.

La performance des marchés de gros comme système de communication a déjà fait l'objet de travaux antérieurs, notamment à partir de analyses statistiques de séries de prix (pour le cas du marché du maïs au Bénin, voir notamment Kuiper, Lutz et al. 1998). En revanche, les analyses des réseaux marchands comme des systèmes de communication sont beaucoup moins répandues et relativement récentes. Certains travaux ont analysé le rôle respectif des réseaux marchands sahéliens et des systèmes d'information publics de marché (SIM) dans la diffusion de l'information au sein des filières céréalières [Egg, Galtier et Grégoire 1996]. D'autres ont essayé de mettre en relation la structure spatiale des réseaux et la transmission de

l'information sur les prix au sein des filières [Hamadou 1997]. En revanche, à notre connaissance, il n'existe jusqu'ici aucune analyse comparant l'efficacité respective des réseaux marchands et des marchés de gros en terme de diffusion d'information.

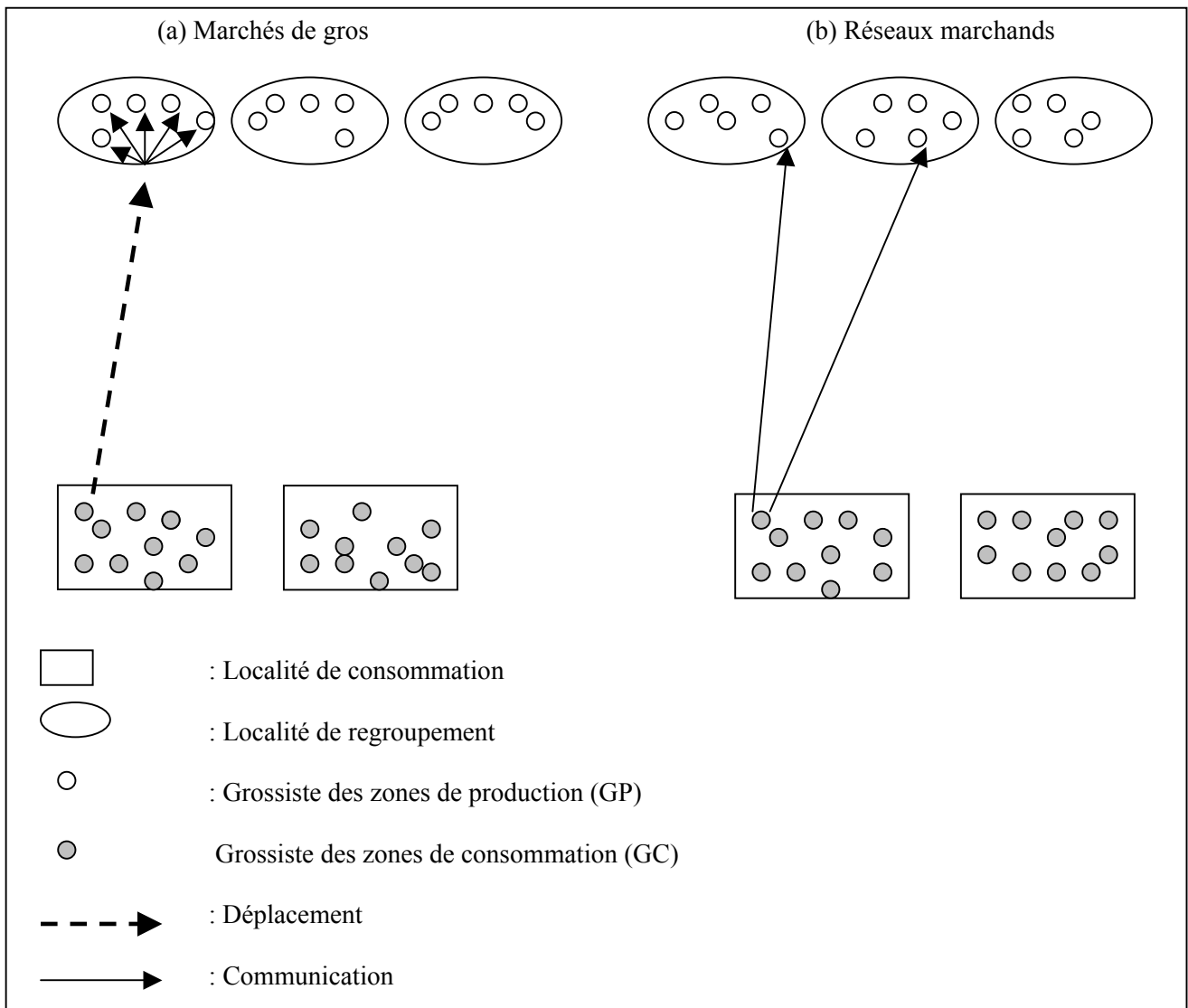
2.2 Hypothèse à tester

Le commerce de gros sert à la mise en connexion des grossistes implantés dans les zones de production (GP) avec ceux qui vivent dans les grands centres de consommation urbains (GC). Les GP collectent les céréales dans les villages auprès des producteurs et les rassemblent dans leurs magasins (situés dans les petites villes de province). Les GC s'approvisionnent auprès des GP et revendent les céréales à des détaillants et consommateurs urbains. Les réseaux marchands et les marchés de gros sont deux modalités d'organisation du commerce de gros. Ces deux institutions fonctionnent d'une manière très différente. Dans le cas du commerce en réseau, chaque grossiste des zones de consommation (GC) dispose de correspondants (GP) dans les différentes zones de production (un par zone) et ne doit en principe s'approvisionner qu'auprès de ses correspondants. Ainsi, lorsqu'un GC désire acheter du maïs ou du mil, il contacte ses correspondants dans différentes localités (en général par téléphone ou par des courriers remis à des routiers ou à des chauffeurs de taxi), centralise les propositions de vente formulées par chacun d'eux (en terme de prix, de qualité, de délai de livraison, de délai de paiement etc.) et réalise la transaction avec celui qui a l'offre la plus intéressante. Tout le processus de négociation et d'échange se déroule donc à distance. Dans le cas du commerce sur des marchés de gros, le système est très différent. Les GC se déplacent dans les zones de production où ils rencontrent les GP sur des places de marché (le jour de marché). Sur ces marchés (qui s'animent en général chaque semaine) sont ainsi réunis l'ensemble des GP de la zone et des GC venant des différentes zones déficitaires du pays. Les transactions s'opèrent en général de gré à gré, ce qui n'empêche pas une uniformisation rapide du prix. En effet, la concentration d'un grand nombre d'acheteurs et de vendeurs en un même lieu à un même moment conduit au fait que les négociations sont publiques et que les coûts d'arbitrage sont faibles¹. Les principales différences entre les deux institutions résident dans leurs aspects temporel et spatial. En effet, dans un cas (les réseaux marchands) le réseau de communication est stable dans le temps alors que dans l'autre (les marchés de gros), il se recompose en permanence en fonction des déplacements des GC. En outre, il semble bien que cette recombinaison soit aléatoire puisque les GC choisissent presque toujours « au hasard » la zone de production vers laquelle ils se déplacent². Les deux institutions diffèrent aussi selon leur couverture spatiale. En effet, dans un cas (marchés de gros), chaque GC peut à chaque période communiquer avec l'ensemble des GP d'une même zone de production (celle dans laquelle il s'est rendu), mais il ne peut pas arbitrer entre des GP de différentes zones. Réciproquement, les réseaux marchands permettent aux GC de communiquer très rapidement (par téléphone) avec des GP de différentes zones de production (leurs correspondants), mais ils ne peuvent pas arbitrer entre les GP d'une même zone. Ceci peut être visualisé sur le graphique ci-dessous :

¹ Précisons que dans certains cas, ces éléments ne suffisent pas à permettre une uniformisation des prix comme dans le cas du marché au poisson de Marseille (Kirman et Vriend 2000) .

² Dans le cas du Bénin, ce choix aléatoire des zones d'achat a été confirmé par des enquêtes auprès des GC. Ceux-ci argumentent le bien fondé de cette stratégie en mettant en avant le peu d'informations dont ils disposent pour choisir leur localité d'achat et surtout le manque de fiabilité de cette information : si le prix était faible le jour de marché précédent, il risque d'y avoir beaucoup d'affluence la fois suivante et une flambée des prix.

Figure 1. Réseaux d'interaction engendrés par les marchés de gros et les réseaux marchands



La diffusion de l'information est donc très différente dans les deux types d'institutions. Les réseaux marchands semblent supérieurs pour réaliser des arbitrages entre zones de production tandis que les marchés de gros paraissent plus performants pour permettre des arbitrages au sein des zones de production. Ceci nous a donc naturellement conduit à l'hypothèse que l'efficacité comparée de ces deux types institutions dépend de l'environnement dans lequel elles évoluent. Si l'hétérogénéité entre les offres des GP est plus importante au sein de chaque zone qu'entre zones, les marchés de gros seront sans doute plus performants que les réseaux (et vice-versa).

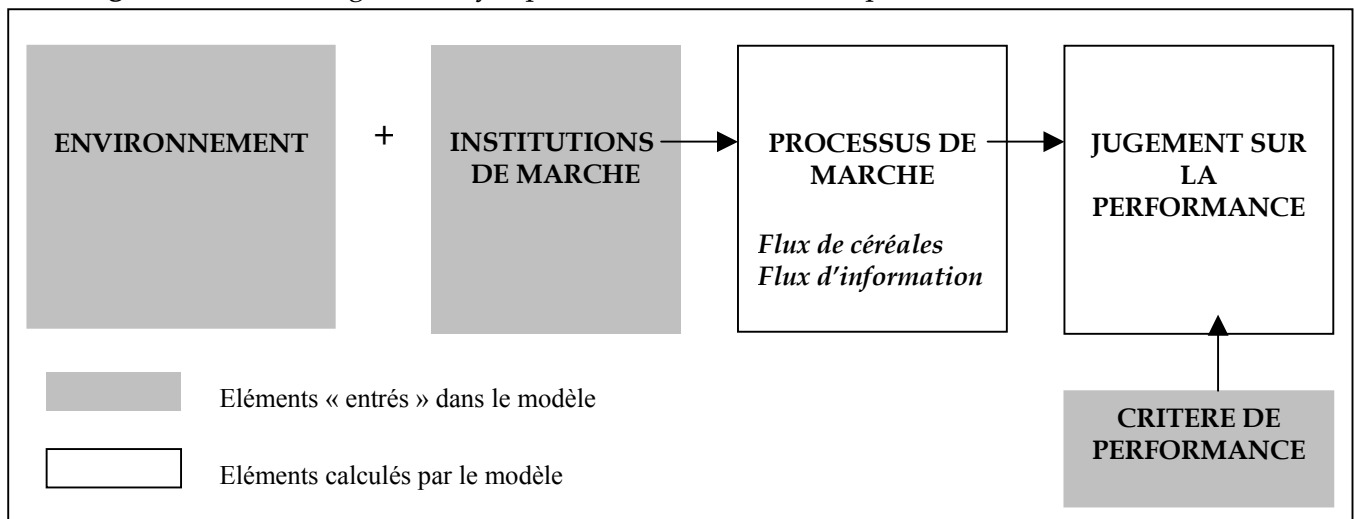
Or, dans le cas de céréales en Afrique de l'Ouest, il existe différentes raisons expliquant que l'hétérogénéité des offres des différents GP puisse être parfois très élevée. En effet, les céréales sont utilisées par les producteurs à la fois pour nourrir leur famille (autoconsommation) et comme source de revenu monétaire. Les ventes de céréales sont alors souvent réduites au strict nécessaire pour couvrir les besoins monétaires immédiats de la famille (afin de ne pas vider les greniers). Ceci conduit à des ventes très fractionnées (un demi-sac, quelques mesures) et relativement imprévisibles (par exemple, vente de céréales

pour acheter des médicaments si un membre de la famille tombe malade). Bien entendu, dans les pays ou les zones où les revenus sont davantage diversifiés et les récoltes plus importantes et moins variables, les stratégies de vente peuvent être très différentes (vente en grande quantité quand le prix est intéressant). Le caractère atomisé et erratique des ventes des producteurs induit un risque de mauvais approvisionnement pour les GP qui peut conduire à une forte hétérogénéité entre eux (selon leur chance). En outre, parfois les décisions de vente des producteurs sont liées à des événements concernant l'ensemble de la zone de production comme un retard de la société cotonnière dans le paiement du coton, des pluies importantes qui risquent de conduire à un enclavement du village (pistes inondées), ou encore des signes indiquant que la nouvelle récolte sera bonne. Alors le succès des différents grossistes dans leurs stratégies d'approvisionnement est surtout lié à leur zone d'intervention, ce qui induit une hétérogénéité plus forte entre les GP de zones différentes qu'entre les GP d'une même zone. Il est donc assez logique de penser que la performance relative des réseaux marchands et des marchés de gros dépend de l'hétérogénéité (inter-zone et intra-zone) des approvisionnements des GP.

2.3. Méthodologie

Nous avons testé cette hypothèse à l'aide de simulations informatiques de processus de marché. La démarche consiste à « entrer » dans le modèle un couple (environnement, institution de marché), à simuler le processus d'échange induit et à mesurer l'efficacité de l'allocation des ressources ainsi obtenue (en fonction d'un critère de performance défini ex ante). Cette approche (représentée sur le graphique ci-dessous) permet de tester l'efficacité comparée des réseaux et des marchés de gros dans différents environnements (afin de voir leur domaine de pertinence respectif).

Figure 2. Méthodologie d'analyse par simulations informatiques



Il y a donc trois éléments au sein du modèle : l'environnement, les institutions de marché et le critère de performance.

Compte tenu de l'hypothèse que nous souhaitons tester, l'*environnement* a été modélisé sous la forme de flux d'approvisionnement aléatoire des grossistes des zones de production (GP). Plus précisément, l'approvisionnement de chaque grossiste dépend pour partie d'un aléa lié à

la zone où il exerce et pour partie d'un aléa lié à sa propre activité. Il est alors possible (selon la pondération que l'on donne à ces deux aléas) de générer un ensemble d'environnements différents caractérisés par le degré d'hétérogénéité des approvisionnements des GP entre zones de production et au sein de chaque zone. Nous avons aussi choisi de faire une analyse de sensibilité sur une autre variable : le nombre de GP. En effet, plus le nombre de GP présents au sein d'une même zone de production est élevé et plus les marchés de gros sont avantagés (puisque eux seuls permettent la réalisation d'arbitrage entre ces GP). Il importait donc de mesurer l'impact potentiel de cette variable sur les performances comparées des marchés de gros et des réseaux marchands. Les caractéristiques de l'environnement se définissent donc par rapport à trois paramètres : l'aléa de l'approvisionnement des GP lié à la zone, l'aléa de l'approvisionnement des GP lié aux individus et le nombre de GP³.

Les institutions de marché ont été représentées d'une manière stylisée. Ainsi, l'essence des réseaux réside dans les relations de fidélisation verticale entre GP et GC qui définissent un réseau d'échange (et de communication) fixe dans le temps. Réciproquement, l'essence des marchés de gros tient dans le déplacement aléatoire des GC à chaque pas de temps et dans la « transparence » qui prévaut sur les places de marché (et qui conduit à la mise en relation de tous les GP et GC qui y sont présents). Cependant, notre objectif n'est pas seulement de comparer la *performance relative* de ces deux institutions : nous souhaitons aussi évaluer leur *niveau de performance* c'est à dire la qualité de la diffusion d'information et de l'allocation des ressources qu'elles génèrent. Pour cela nous avons introduit dans le modèle une institution de marché imaginaire « parfaite » c'est à dire permettant une transparence totale du marché et une allocation des ressources optimale. Une telle institution « témoin » peut être modélisée comme une place de marché gigantesque englobant l'ensemble des GP et GC du modèle. Ceci nous a donc conduit à réaliser trois « sous modèles » correspondant à trois institutions de marché différentes : l'institution témoin (baptisée « BOURSE »), les marchés de gros (« PLACES ») et les réseaux marchands (« RESEAUX »).

Le *critère de performance* le plus pertinent pour évaluer l'allocation des ressources consiste à mesurer le niveau de bien être des acteurs finaux de l'échange c'est à dire des producteurs et des consommateurs. En particulier, en Afrique de l'Ouest, les céréales jouent un rôle crucial à la fois pour les producteurs (comme source de revenu monétaire et pour la consommation familiale) et pour les consommateurs (les céréales qui apportent l'essentiel de la ration calorique représentent en outre 15 à 20 % du budget des ménages urbains). Un dysfonctionnement des marchés céréaliers risque donc d'avoir des conséquences sociales assez dramatiques. Logiquement, il faudrait donc analyser la performance des différentes institutions de marché par leur impact sur le bien être des producteurs et des consommateurs. Ceci pourrait être fait en comptabilisant les « privations » des producteurs et des consommateurs durant une période de temps donnée, une « privation » se définissant comme un besoin non résolu en céréale ou en argent. Ceci n'est en réalité pas possible puisque ces acteurs ne sont pas modélisés (on s'est limité à représenter la partie centrale des filières, c'est à dire les échanges entre grossistes). En revanche, il est possible de recourir à un indicateur agrégé des « privations » des consommateurs. En effet, comme sur nos terrains les céréales

³ Les différents coûts liés à la réalisation des transactions (communication, déplacement, négociation, *enforcement*...) n'ont pas été intégrés dans le modèle ni les contraintes de liquidité des commerçants (qui limitent leurs capacités d'achat et les contraignent à recourir au crédit).. Ce choix s'explique par le fait que nous souhaitons démontrer que les réseaux marchands peuvent battre les marchés de gros sur leur propre terrain : celui de la diffusion d'information. Il était donc préférable de ne pas intégrer dans le modèle les autres éléments de l'environnement qui sont clairement à l'avantage des réseaux (coûts plus faibles, accès au crédit plus facile).. Sur le plan formel, ceci permettait de ne pas modéliser les flux d'argent (mais seulement les flux de céréales et d'information), ce qui simplifiait considérablement la programmation.

sont des produits de première nécessité, leur demande est inélastique aux variations de prix et on peut considérer que les besoins des consommateurs sont peu variables dans le temps. Il était donc possible de fixer la demande en céréales des consommateurs de chaque ville. Le rationnement des consommateurs à chaque pas de temps peut alors être mesuré au niveau de chaque localité de consommation par la comparaison entre les besoins des consommateurs d'une part et le niveau de stock de la ville d'autre part. Cette mesure (par localité) des niveaux de rationnement des consommateurs peut être agrégée par simple sommation pour obtenir un indicateur de performance R mesurant le rationnement global des consommateurs engendré

par les institutions de marché : $R = \sum_{i=1}^{i=n} (Bi - \sum_{j=1}^{j=Ni} Sij)$ avec

R : Niveau de rationnement global de l'ensemble des consommateurs

n : Nombre de localités de consommation

Ni : Nombre de grossistes (GC) dans la localité de consommation i

Bi : Besoin en céréales des consommateurs de la localité i au cours d'un pas de temps

Sij : Stock en céréales du j^{ième} grossiste de la localité i

On peut ainsi comparer les différentes institutions de marché en fonction d'un critère de performance simple : le niveau de rationnement au niveau de l'ensemble des localités de consommation sur une période de temps donnée. Remarquons que le niveau de rationnement n'est en aucun cas un indicateur du *niveau* de performance des institutions. En effet, comme l'approvisionnement des GP est aléatoire dans le modèle, il existe une probabilité non nulle qu'à certains pas de temps l'offre globale soit inférieure à la demande globale, ce qui engendre un rationnement au niveau des consommateurs. Mais il s'agit alors d'un déséquilibre physique entre l'offre et la demande et non d'un problème d'allocation des ressources. L'allocation des ressources optimale ne correspond donc pas à un rationnement nul mais au niveau de rationnement engendré par l'institution « témoin » qui assure une parfaite connexion de toute l'offre avec toute la demande à chaque pas de temps. Dis autrement, une partie du rationnement observé avec les institutions de gros modélisés (réseaux et places de marché) s'explique par la variabilité de l'offre globale, tandis qu'une autre s'explique par les défaillances de la diffusion de l'information et (par suite de l'allocation des ressources). La comparaison avec l'institution témoin permet de séparer ces deux effets.

3. DESCRIPTION DU MODELE

La structure du modèle correspond à la représentation informatique des institutions de marché et des environnements auquel elles sont confrontées. Suivant un schéma souvent utilisé dans les modèles de type systèmes multi-agents (et pour lesquels des plates-formes de simulations comme Cormas ou Swarm sont préparées), nous décomposerons la description du modèle en trois parties :

- Description des entités représentant les agents, de leurs potentielles interactions et de leur environnement (ici spatial)
- Description de la dynamique du modèle
- Description des indicateurs à observer (sorties du modèle)

3.1. Les entités du modèle

3.1.1 Les lieux

Les lieux représentent les différentes localités où sont basés les GP (localités de regroupement ou LR) et les GC (localités de consommation ou LC). Certains lieux sont des places de marché et permettent de réaliser l'agrégation et la rencontre des fonctions d'offre et de demande des différents acteurs qui y sont présents. C'est le cas des LC dans tous les scénarios du modèle et c'est aussi le cas des LR dans les scénarios réalisés avec le sous modèle « PLACE » (représentant les marchés de gros). En outre, chaque LR est caractérisée par un aléa affectant le niveau d'approvisionnement des grossistes (GP) de la zone à chaque pas de temps. Cet aléa traduit l'impact global des différentes variables collectives qui affectent le niveau des ventes des producteurs de la zone (prévisions de récolte, retard dans le paiement du coton etc.). Les localités de consommation (LC) sont caractérisées par un niveau de consommation en céréales (indépendant du prix).

Par soucis de simplicité nous souhaitons introduire le moins de localités possibles. Nous avons donc opté pour une configuration avec deux localités de consommation (LC) et trois localités de regroupement (LR). Cette organisation de l'espace correspond vaguement à celle qui prévaut au sud du Bénin où deux grandes localités de consommation (Cotonou et Porto-Novo) sont approvisionnées par trois grandes localités de regroupement (Kétou, Pobè et Azovè). Surtout, il était nécessaire d'introduire au moins trois LR pour modéliser le fait que dans l'organisation en réseau les GC ne peuvent arbitrer que sur un sous-ensemble des différentes LR (celles où ils ont des correspondants).

3.1.2 Les agents

Comme le modèle représente les transactions de gros, les seuls acteurs en présence sont les grossistes des zones de production (GP) et les grossistes des zones de consommation (GC), les consommateurs étant quant à eux représentés de manière agrégée par les localités de consommation. Les grossistes (GP comme GC) sont définis par un certain nombre d'attributs communs : leur nom, leur stock et leur fonction d'offre. Le stock des grossistes est constitué d'un vecteur composé de couples (prix ; quantité), le prix affecté aux différentes quantités gardées en stock étant leur prix d'achat. Comme les coûts de stockage et les profits sont considérés comme nuls dans le modèle, la fonction d'offre des grossistes se calcule facilement à partir de leur stock comme une fonction cumulée des quantités en fonction des prix. Si le stock S d'un grossiste g est représenté par la formule suivante : $S = \{(P_1; Q_1); (P_2; Q_2); \dots; (P_i; Q_i); \dots; (P_n; Q_n)\}$, alors sa fonction d'offre est donnée par :

$$O(P_j) = \sum_{i=1}^{i=n} (Q_i * B_{i,j}) \text{ avec } b_{i,j} = 0 \text{ si } P_i > P_j \text{ et } b_{i,j} = 1 \text{ si } P_i \leq P_j$$

Les GP sont en outre caractérisés par un attribut « aléa individuel » qui détermine une partie de la variabilité de leurs approvisionnements (l'autre partie étant déterminée par l'aléa associé à la localité de regroupement). Quant aux GC, ils sont pourvus d'un réseau (la liste de leurs correspondants GP) et d'un objectif de stock (qui correspond à 20% de plus que leur part de marché théorique)⁴. Ils connaissent aussi la liste des différentes localités de regroupement

⁴ La part de marché théorique est égale au rapport entre la demande (constante par hypothèse) de la localité et le nombre de GC présents dans cette localité. La fixation de l'objectif de stock des GC à 20% au dessus de leur part de marché théorique résulte de l'observation des stratégies d'achat des commerçants céréaliers du Mali et du Bénin (Galtier 2002a).

(LR) où ils peuvent se rendre pour acheter des céréales. Comme nous l'avons vu plus haut, le nombre N de GP est une des variables exogènes de l'analyse (servant à définir l'environnement dans lequel évoluent les marchés). N varie donc selon les scénarios réalisés.

3.1.3 Les flux d'information

Les flux d'information sont représentés dans le modèle comme des « messages » composées de prix et de quantités (les autres paramètres de l'échange tels que les conditions de paiement ou de livraison ou les différences de qualité ne sont pas inclus dans l'analyse). L'information détenue par les agents (GP et GC) est entièrement exprimée par leurs stocks (qui sont des vecteurs de couples « prix – quantité »). Cette information est dispersée entre les acteurs dans la mesure où chacun ne connaît que son stock mais ignore celui des autres. Cette information est en outre soumise à des variations exogènes puisque l'approvisionnement de chaque GP à chaque pas de temps est aléatoire.

La qualité de l'allocation des ressources dépend alors de la diffusion de l'information qui s'opère entre les acteurs. Celle-ci s'effectue selon deux mécanismes différents :

a) *Au sein des places de marché*, toute l'information détenue par chaque commerçant (dans son attribut « stock ») est diffusée. Les messages envoyés par les commerçants sont alors des fonctions d'offre complètes résumant toute l'information qu'ils détiennent. Comme nous l'avons mentionné plus haut, en pratique ce sont les entités « lieux » du modèle qui « lisent » les fonctions d'offre et de demande des acteurs, les agrègent, confrontent les fonctions d'offre et de demande globales ainsi obtenues et calculent le prix. Cette information (le prix) est ensuite renvoyée aux acteurs qui l'utilisent dans leurs comportements d'achat et de vente. Ceci représente le fait que l'information se diffuse rapidement sur les places de marché du fait du caractère public des négociations et des transactions, ce qui conduit à une rapide uniformisation des prix. Dans le modèle, les places de marché permettent donc de mobiliser et d'agréger l'ensemble de l'information détenue par les acteurs qui y sont présents. Une place de marché englobant l'ensemble des GP et GC du modèle permet donc une utilisation de l'ensemble de l'information disponible et donc une allocation des ressources optimale. C'est ce qui explique que le sous modèle BOURSE (utilisé comme témoin) soit constitué d'une place de marché unique regroupant tous les GP et tous les GC. Cette procédure de diffusion de l'information est aussi utilisée dans les deux autres sous modèles. Dans PLACES, c'est au niveau de chacune des localités de regroupement et de consommation que se produit ce processus. Dans RESEAUX, c'est seulement au niveau des localités de consommation qu'il y a des places de marché. Les transactions entre GP et GC en revanche sont réalisées au sein des réseaux marchands.

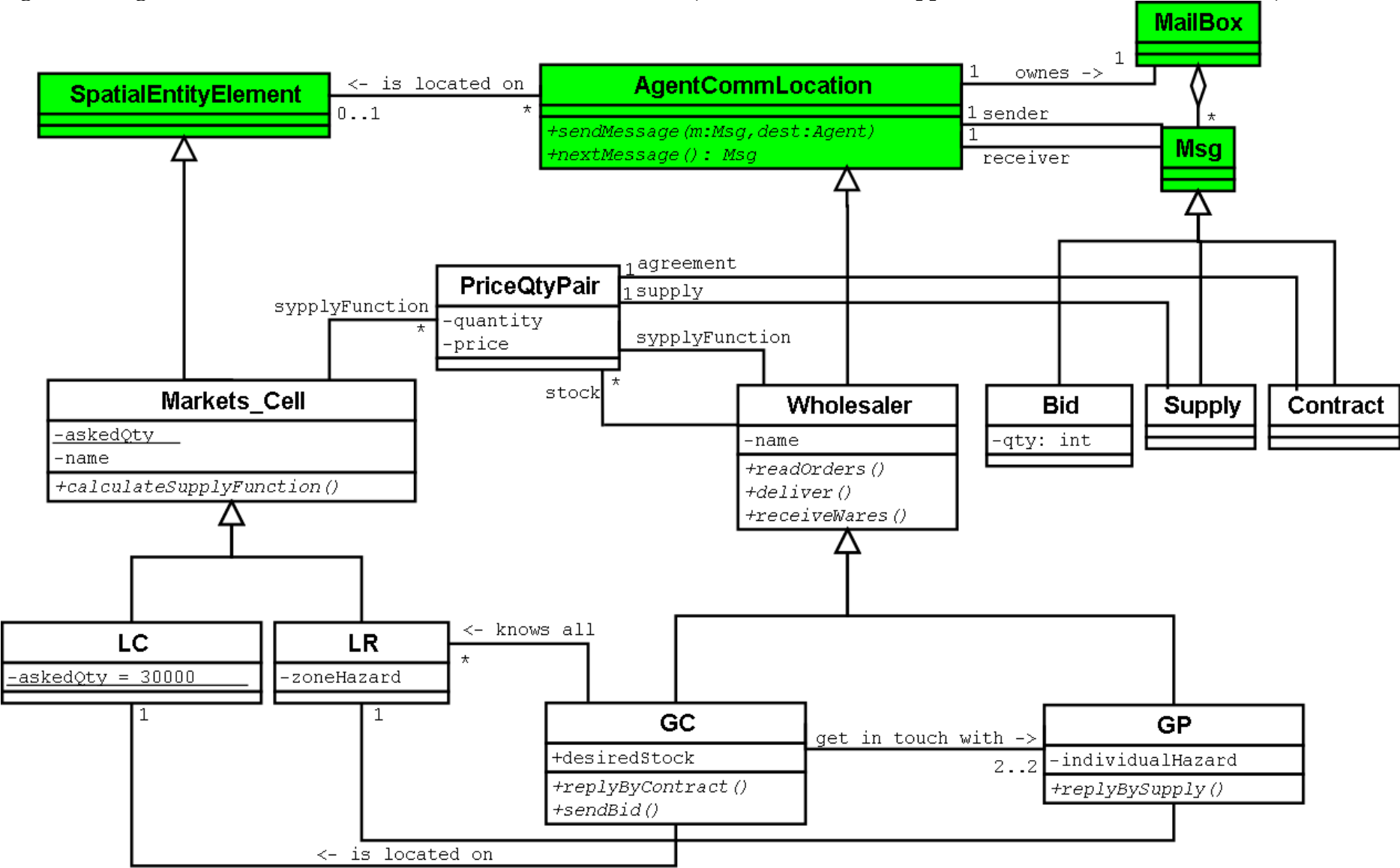
b) *Au sein des réseaux marchands*, la diffusion d'information est très différente. Les messages envoyés par les acheteurs et vendeurs potentiels y prennent une forme beaucoup plus sommaire. Ce n'est plus la totalité de l'information détenue par les acteurs (sous forme de leurs fonctions d'offre et de demande) qui est diffusée mais soit une quantité (demandée par les GC à leurs correspondants GP), soit un couple (prix ; quantité) qui correspond à la réponse des GP sous forme de proposition de vente soit enfin une variable binaire correspondant à l'acceptation ou au refus des propositions de vente formulées par les GP.

Au total, selon les institutions de marché modélisées, les mécanismes de diffusion de l'information varient. Pour le sous modèle PLACE et le sous modèle témoin BOURSE, c'est seulement la diffusion d'information au sein des places de marché qui est utilisée. Dans le cas du sous modèle RESEAUX, deux mécanismes sont mobilisés : les réseaux marchands pour

les transactions entre GP et GC et les places de marché pour les transactions entre GC et consommateurs. Comme le mécanisme utilisé (au niveau des localités de consommation) pour les transactions entre GC et consommateurs est le même dans RESEAUX et dans PLACES, c'est au niveau amont des transactions entre GP et GC que se joue la différence de performance entre les deux institutions.

Le diagramme UML présenté à la page suivante permet de visualiser les différentes entités du modèle et leurs interrelations :

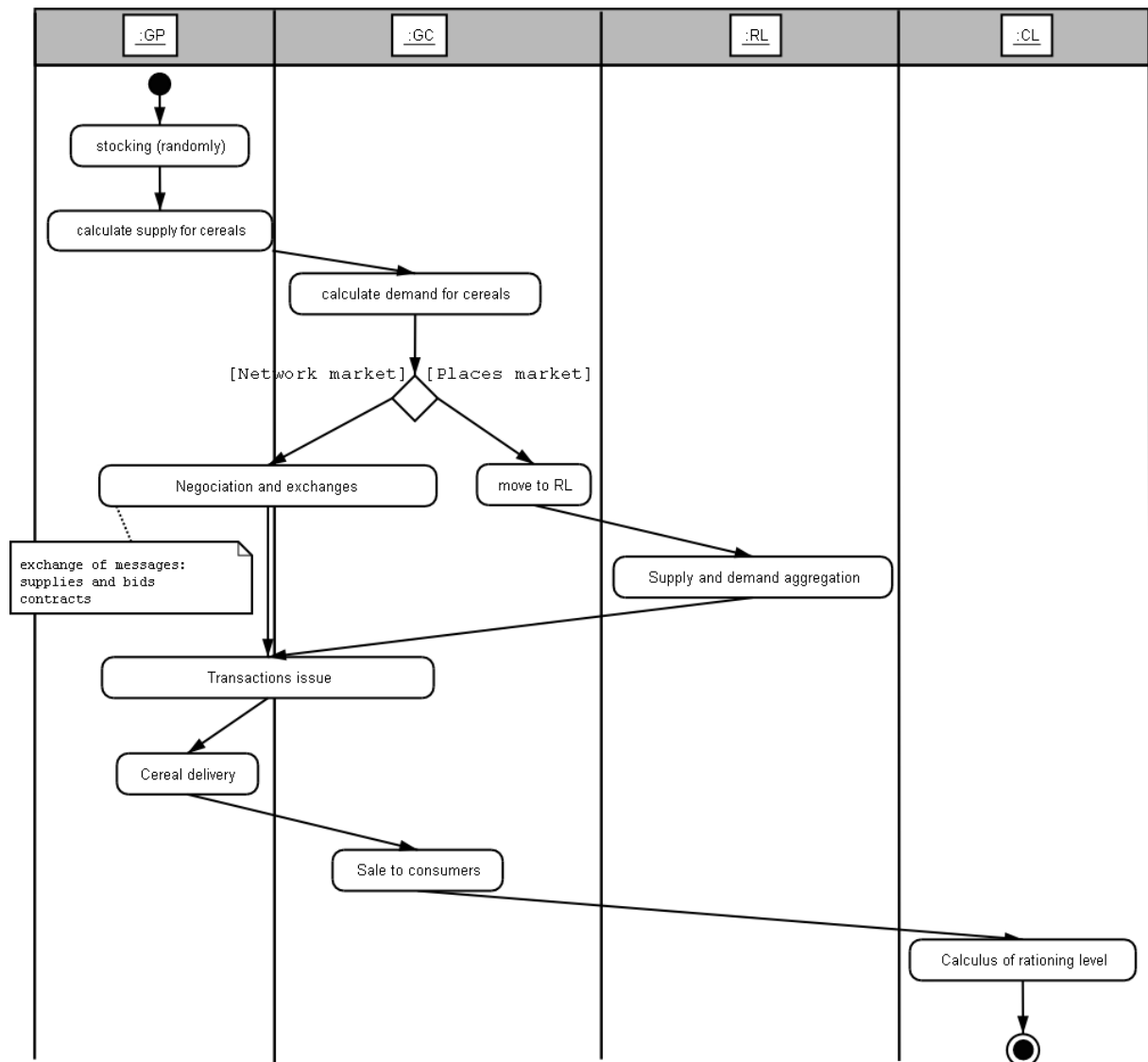
Figure 3 : Diagramme de classe du modèle selon le formalisme UML.(Les classes colorées appartiennent au framework Cormas)



3.2 La dynamique du modèle

Tous les scénarios modélisés relèvent de la même chronologie. A chaque pas de temps, ce produisent les étapes suivantes. En premier lieu, les GP reçoivent un approvisionnement aléatoire sous forme d'un couple (prix ; quantité), ce qui leur permet d'actualiser leur stock. Ce stock exprimé sous forme de vecteur de couples (prix ; quantité) leur permet de calculer leur fonction d'offre (quantités cumulées en fonction des prix). En second lieu, les GC calculent leur demande (exprimée sous forme d'une simple quantité). Le troisième temps correspond aux échanges de messages (propositions d'achat et de vente) entre GP et GC qui correspondent au processus de négociation et de réalisation des transactions (livraison). C'est ici que les scénarios divergent selon l'institution de marché qu'ils incluent (marchés de gros, réseaux marchands ou institution « témoin »). A la fin de ce processus les stocks des GP et GC sont actualisés. Enfin, les GC calculent leur fonction d'offre à partir de leur stock. Les fonctions d'offre des différents GC sont agrégées au niveau de chaque localité de consommation. Cette fonction d'offre collective est ensuite confrontée à la demande de la localité (constante). Ceci donne un prix de marché, un niveau de rationnement et le niveau des ventes de chaque GC (ce qui permet d'actualiser leur stock). Cette dynamique peut être visualisée sur le graphique suivant :

Figure 4. Diagramme d'activité du modèle au cours d'un pas de temps. Les activités "négotiation and exchange" et "transactions issue" sont partagées par les 2 entités GP et GC (à cheval sur 2 "swimlanes").



La seule différence entre les scénarios simulant le fonctionnement des réseaux (RESEAUX) et des marchés de gros (PLACES) réside dans l'étape n°3. Celle-ci simule le processus d'échange entre GP et GC engendré par les institutions de marché. En effet, *dans le sous modèle PLACES*, chaque GC, après avoir calculé sa demande (étape n°2), choisit de manière aléatoire une localité de regroupement dans laquelle il se déplace pour aller s'approvisionner. Ensuite, la demande agrégée des GC est calculée par sommation de leurs demandes individuelles. Cette demande est ensuite croisée avec la fonction d'offre collective des GP de la localité (obtenue par agrégation de leurs fonctions d'offre individuelles). Ceci détermine un prix et un ensemble de transactions, ce qui permet ensuite d'actualiser les stocks des GP et des GC. Les GC retournent ensuite dans leur localité de consommation et vendent (étape 4). *Dans le sous-modèle RESEAUX*, la séquence de l'étape 3 est très différente : *a)* chaque GC envoie un message à ces deux correspondants GP (chacun étant situé dans une LR différente) contenant la quantité demandée qD *b)* les GP croisent cette quantité avec leur fonction d'offre individuelle et déterminent leur offre (composée d'un couple « prix – quantité », la quantité pouvant être égale à qD ou lui être inférieure si le GP ne possède pas un stock suffisant pour satisfaire toute la demande) *c)* cette offre est le contenu du message renvoyé au GC *d)* le GC dépouille les offres qu'il a reçues et choisit celle qui propose le meilleur prix. Il envoie alors un message d'acceptation au GP correspondant et calcule la différence entre la quantité demandée et la quantité offerte par ce grossiste. Si cette différence est positive (c'est à dire si l'offre du GP ne suffit pas à couvrir toute la quantité qD), alors le GC envoie un nouveau

message à l'autre GP avec cette nouvelle quantité demandée qD' (celui-ci fait alors une nouvelle offre sur la base de cette nouvelle quantité demandée qui est acceptée par le GC)⁵.

3.3. Les « sorties » du modèle : les indicateurs de performance

Comme il a été dit, le critère de performance retenu concerne le niveau de rationnement dans les localités de consommation. Il a été envisagé un moment d'inclure d'autres critères de performance (mesurés eux aussi au niveau des localités de consommation) : notamment le niveau et la variabilité des prix. Il s'est cependant avéré que le modèle ne permettait pas de calculer les prix que d'une manière très imparfaite. En effet, comme aucune valeur n'a été incluse pour l'élasticité de l'offre, il est très difficile de déterminer le niveau auquel se fixe le prix dans les situations de rationnement. On s'est donc contenté d'un seul critère de performance : le montant global du rationnement (au niveau des deux localités de consommation).

Nous avons présenté la structure du modèle Markets. Celui-ci a été programmé en smallTalk à l'aide du logiciel visualWorks. Il a été implémenté sur la plate-forme CORMAS du CIRAD [Le Page C., Bousquet F. et al. 2000].

4. LES SIMULATIONS REALISEES ET LEURS RESULTATS

Nous présenterons successivement le plan d'expérience, les résultats attendus (hypothèses testées) et les résultats obtenus. L'interprétation économique de ces résultats fera l'objet de la section suivante.

4.1. Plan d'expérience

L'enjeu de ce travail de modélisation est de tester la performance de différentes institutions de marché au sein de différents environnements. Un scénario du modèle correspond donc à un couple (environnement ; institution de marché). Nous allons présenter ci-dessous *l'ensemble de scénarios* retenu pour les simulations.

Comme nous l'avons vu plus haut, l'*environnement* est défini par trois éléments : l'aléa lié à la zone, l'aléa lié au GP et le nombre de GP. L'approvisionnement A de chaque GP se définit comme la résultante de trois composantes : une partie constante, une partie proportionnelle à l'aléa de la zone aZ et une partie proportionnelle à l'aléa de l'individu aI . La formule est donc la suivante : $A = x + y aZ + z aI$. Dans le modèle, aZ et aI sont des variables aléatoires pouvant prendre trois valeurs (les mêmes pour aZ et aI) avec des probabilités équiprobables. aZ est tiré au sort à chaque pas de temps pour chacune des trois localités de regroupement

⁵ Précisons qu'ici les GC agissent les uns après les autres. Ceci revient à dire que chaque « conversation » entre un GC et ses deux correspondants est terminée avant qu'un autre GC commence à contacter ses correspondants. La conséquence de cet ordonnancement est que chaque GP ne reçoit de demande que d'un seul GC à la fois. Ceci correspond assez bien au comportement des GP qui essaient de satisfaire les demandes exprimées par leurs correspondants GC dans l'ordre où elles se présentent. Un inconvénient de cet ordonnancement est qu'elle risque de créer un biais : en effet, les GC agissant en premier sont artificiellement « avantagés » par rapport à leurs concurrents (car ensuite les stocks des GP ont été diminués par leurs ventes). Pour contrer ce biais, dans le modèle, l'ordre dans lequel agissent les GC est tiré au sort à chaque pas de temps.

(LR) : cette valeur est donc la même pour tous les GP de cette localité. En revanche, la variable aI est tirée au sort (à chaque pas de temps elle aussi) pour chacun des GP. Le rapport entre y et z indique donc si le degré d'hétérogénéité est plus élevé entre les différentes zones de production ou au sein de chaque zone. Nous avons choisi de prendre 5 valeurs pour y (0 ; 250 ; 500 ; 750 et 1000) et les mêmes pour z . Ceci nous a permis de définir 25 couples ($y ; z$). Concernant N le nombre de GP, nous avons introduit deux types de scénarios : un avec 15 GP et l'autre avec 30 GP (5 ou 10 par localité de regroupement selon le cas). Le nombre de GC, lui, est resté fixé à 30 dans tous les scénarios (15 par localité de consommation).

Les institutions de marché modélisées sont au nombre de trois : les places de marché de gros (sous-modèle « PLACES »), les réseaux (sous-modèle « RESEAUX ») et l'institution fictive témoin (sous-modèle « BOURSE »).

Au total, ceci nous a conduit à définir 50 environnements différents et 3 institutions de marchés différentes. Ceci nous donne donc au total 150 scénarios à tester.

Tableau I. Les différents scénarios testés

	Variables	Modalités	Nombre de modalités
Environnement			
- Poids de l'aléa lié à la zone	y	0 ; 250 ; 500 ; 750 et 1000	5
- Poids de l'aléa lié au GP	z	0 ; 250 ; 500 ; 750 et 1000	5
- Nombre de GP	N	15 ou 30	2
Institutions de marché	Réseau de communication	RESEAUX, PLACES et BOURSES	3

Le *calibrage du modèle* permet de spécifier la formule concernant l'approvisionnement des GP. Celui-ci dépend du scénario considéré (variables y , z et N) et de paramètres aléatoires (variables aI et aZ). D'une manière générale, l'approvisionnement A d'un GP peut être exprimé par la formule suivante :

$$A = x + y aZ + z aI \quad (1)$$

En fait, on s'est arrangé pour que $E(A)$ soit identique dans tous les scénarios quels que soient les paramètres x et y (qui déterminent sa variabilité inter et intra zone). En outre, le modèle a été calibré de manière à ce qu'en espérance mathématique l'offre globale soit égale à la demande globale (fixée de manière arbitraire à 60000). Comme dans le modèle tous les GP ont une taille identique, ils ont tous la même espérance mathématique d'approvisionnement. Si N est le nombre de GP, l'espérance mathématique de l'approvisionnement de chaque GP est donnée par :

$$E(A) = 60000 / N \quad (2)$$

En couplant (1) et (2), on obtient :

$E(A) = x + y E(aZ) + z E(aI) = 60000 / N \Leftrightarrow x = (60000 / N) - y E(aZ) - z E(aI)$. Si on substitue cette valeur dans (1), on obtient :

$$A = [60000 / N] + y[aZ - E(aZ)] + z [aI - E(aI)] \quad (3)$$

Comme on souhaite que l'approvisionnement individuel des GP soit deux fois plus faible lorsqu'il y a 30 GP que lorsqu'il y en a 15, on a décidé que les variables aléatoires aZ et aI

pouvaient prendre les valeurs 1, 2 ou 3 lorsque $N = 15$ et $1/2, 1$ et $3/2$ lorsque $N = 30$. La fonction de probabilité de l'approvisionnement de chaque grossiste des zones de production (GP) est alors entièrement explicitée en fonction des paramètres caractérisant le scénario considéré (y, z et N) :

Lorsque $N = 15$, $A = 4000 + y[aZ - 2] + z[aI - 2]$, aI et aZ pouvant prendre les valeurs 1, 2 ou 3 de manière équiprobable.

Lorsque $N = 30$, $A = 2000 + y[aZ - 1] + z[aI - 1]$, aI et aZ pouvant prendre les valeurs $1/2, 1$ ou $3/2$ de manière équiprobable.

Chacun de ces 150 scénarios a donné lieu à des simulations sur 100 pas de temps, ce qui correspond approximativement à deux campagnes agricoles si on suppose qu'un pas de temps du modèle représente une semaine dans la réalité (la semaine est en effet le rythme d'animation de nombreuses places de marché). On ne peut cependant se contenter d'une seule simulation par scénario. En effet, comme plusieurs variables aléatoires ont été introduites dans le modèle, différentes simulations réalisées à partir d'un même couple (environnement ; institution de marché) peuvent conduire à des processus de marché très différents et aux performances contrastées. Le problème de l'indétermination de la performance induite par un couple (environnement ; institution de marché) ne peut être levée que par la réalisation de nombreuses simulations pour un même scénario. On prend alors comme critère de performance la moyenne du rationnement engendré par un « paquet » de simulation. Quelques essais ont montré que le rationnement moyen obtenu à partir de 1000 simulations varie très peu. Nous avons donc opté pour la réalisation de 1000 simulations pour chaque scénario, ce qui nous a conduit à réaliser au total 150000 simulations.

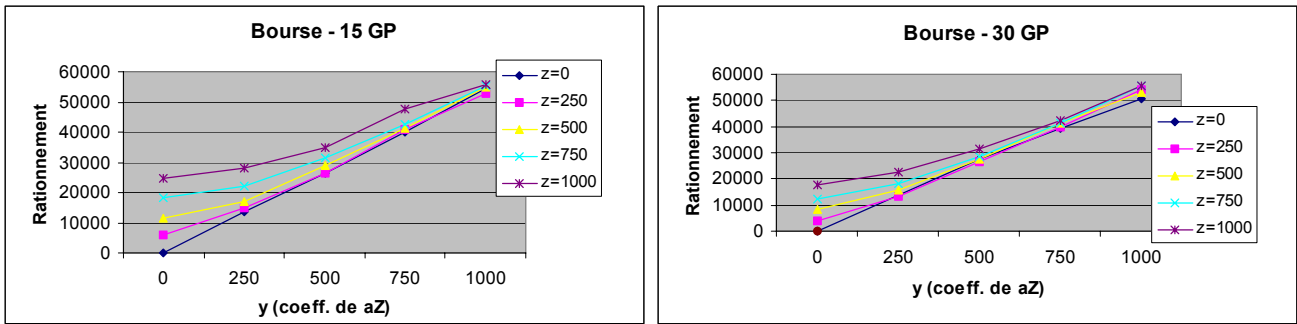
4.2. Test de la fiabilité du modèle

Il est possible de vérifier la fiabilité du modèle en contrôlant si quelques résultats déjà connus se retrouvent bien à partir des simulations réalisées. Il s'agit de simulations réalisées avec l'institution « témoin » (BOURSE), pour laquelle on dispose de certains résultats théoriques. Ainsi, on savait que l'on devait obtenir les résultats suivants :

- a) Le rationnement doit être nul lorsque il n'y a pas d'aléa ($y = z = 0$). En effet, alors, à chaque pas de temps, l'offre globale (approvisionnement des grossistes) est la même. Compte tenu du calibrage du modèle, cette offre globale est égale à la demande globale (demande des localités de consommation). Comme l'offre et la demande sont centralisées, toute l'offre est mise en relation avec toute la demande ce qui conduit au fait qu'il ne doit pas y avoir de rationnement.
- b) Le rationnement doit augmenter quand les aléas augmentent (augmentation de y ou z).
- c) Le rationnement doit augmenter plus fortement lorsqu'on augmente l'aléa lié à la zone (augmentation de y qui est le coefficient de aZ) que lorsqu'on augmente l'aléa lié au GP (augmentation de z). En effet, dans le premier cas les aléas concernant l'approvisionnement des différents GP sont corrélés, ce qui fait que la centralisation de l'offre des GP parvient plus difficilement à réduire la variabilité de l'offre globale (en faisant jouer la loi des grands nombres).

Comme on peut le voir sur les graphiques ci-dessous, les résultats triviaux que l'on attendait sont bien obtenus, ce qui renforce la confiance accordée au modèle.

Graph. n°4 : Résultats des simulations réalisées avec le sous-modèle BOURSE



Les graphiques ci-dessus montre les niveaux de rationnement induits par l'institution BOURSE pour chacun des 50 environnements simulés. Le graphique de gauche représente les environnements pour lesquels $N=15$ et celui de droite ceux pour lesquels $N=30$. Dans chaque cas, les valeurs de y (poids de l'aléa lié à la zone) sont représentés en abscisse. Les courbes de différentes couleurs correspondent aux valeurs de z (poids de l'aléa lié au commerçant). Chaque point représente le rationnement moyen induit par 1000 runs réalisés pour le même scénario, un scénario étant caractérisé par un triplet $(N ; y ; z)$.

Ces graphiques confirment bien les résultats attendus. Ainsi, lorsqu'il n'y a pas d'aléa ($y = z = 0$), le rationnement est effectivement nul que ce soit dans le scénario avec 15 GP ou dans celui avec 30 GP. Le rationnement augmente effectivement avec y comme le montre le caractère ascendant des 10 courbes ci-dessus. Le rationnement augmente aussi avec z comme le montre le fait que la courbe correspondant à $z = 0$ est toujours au dessous de la courbe correspondant à $z = 250$ qui est elle-même au dessous de celle correspondant à $z = 500$ etc.. Enfin, l'augmentation de rationnement induite par la hausse de y est plus forte rapide que celle induite par la hausse de z . Ceci est illustré par le fait que l'écart entre les courbes de différentes couleurs est faible (le passage de $z=0$ à $z=1000$ entraîne une différence maximale de rationnement allant de 0 à 250000), alors que la pente des courbe est élevée (le passage de $y = 0$ à $y = 1000$ entraîne une différence de rationnement allant de 350000 à 550000).

Le moment est venu de présenter les résultats des simulations. Nous considérerons successivement les résultats attendus (hypothèses testées) et les résultats obtenus. La section suivante sera dédiée à la discussion de la signification économique de ces résultats.

4.3. Résultats attendus des simulations

Les principaux résultats attendus des simulations concerne notre hypothèse selon laquelle les différences de performance entre les réseaux marchands et les marchés de gros s'expliquent par les caractéristiques de l'hétérogénéité de l'offre des grossistes des zones de production (GP). Si l'hétérogénéité est plus forte entre les grossistes d'une même zone plutôt qu'entre les différentes zones de production, il est vraisemblable que les marchés de gros seront plus performants. Si en revanche, c'est l'hétérogénéité entre les différentes zones de production qui est très élevée, les réseaux devraient l'emporter. Ceci se traduit dans le modèle par les hypothèses suivantes :

H1 : Existence d'une corrélation positive entre y et la performance des réseaux comparée à celle des marchés de gros (mesurable par le rapport entre le rationnement obtenu avec RESEAUX et avec PLACES).

H2 : Existence d'une corrélation négative entre z et la performance des réseaux comparée à celle des marchés de gros (mesurable par le rapport entre le rationnement obtenu avec RESEAUX et avec PLACES).

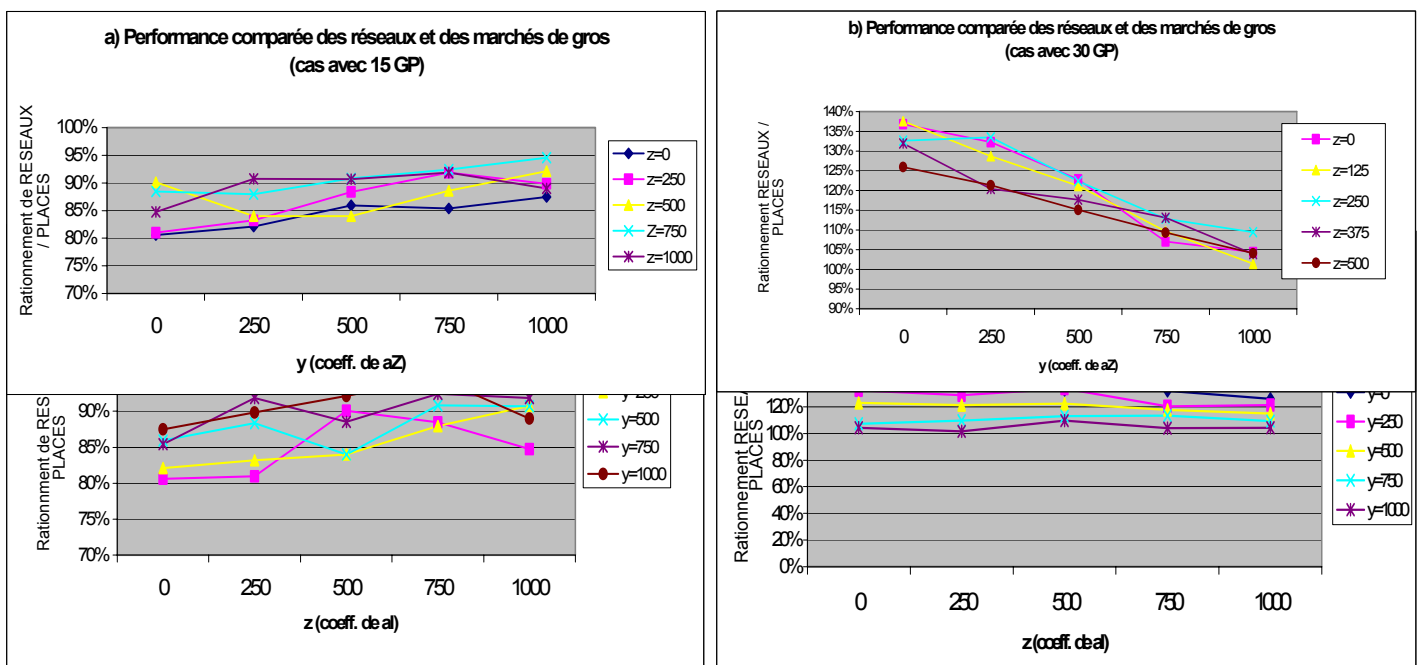
4.4. Les résultats obtenus

Nous présenterons d'abord les résultats concernant les *performances relatives* des réseaux marchands et des marchés de gros. Pour cela nous comparerons les niveaux de rationnement engendrés par les sous-modèles RESEAUX et PLACES pour chacun des 50 environnements simulés. Dans un deuxième temps, nous nous intéresserons *aux niveaux de performance* de ces institutions. Pour cela, nous comparerons leurs niveaux de rationnement avec ceux engendrés par l'institution témoin BOURSE (qui permet une allocation optimale des ressources).

4.4.1. L'analyse de la performance relative des institutions : quels domaines d'efficacité respectifs pour les réseaux marchands et les marchés de gros ?

Les résultats peuvent être visualisés sur les graphiques ci-dessous :

Figure 4. Performance relative des réseaux et des places de marché



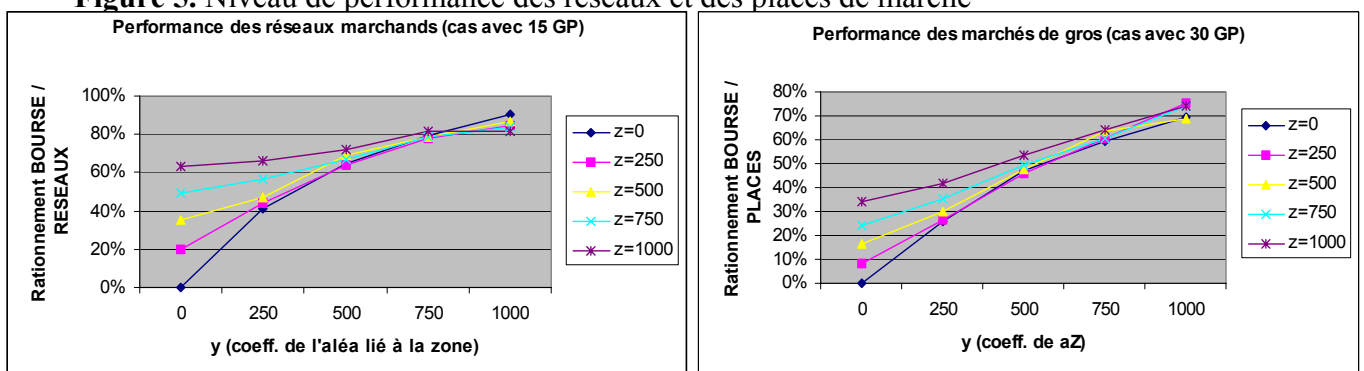
La première conclusion concerne le décalage entre les résultats attendus et les résultats obtenus. En effet, si l'hypothèse H1 semble assez bien confirmée dans les scénarios avec 30 GP (graphique b), il n'en est pas de même dans les scénarios avec 15 GP (graphique a). Ainsi, l'augmentation de y ne provoque pas toujours une amélioration de la performance comparée des réseaux (amélioration qui se traduit par la décroissance de la courbe représentant le rapport des deux rationnements). En outre, même lorsque c'est le cas (scénarios avec 30 GP), l'augmentation du poids y de l'aléa portant sur les zones ne permet pas aux réseaux de devenir plus performants que les marchés de gros. On assiste simplement à une diminution de l'écart de performance entre les deux institutions : le rationnement engendré par les réseaux (qui excède d'environ 30% celui généré par les marchés de gros lorsque $y = 0$) se réduit à moins de 10% lorsque $y = 1000$. Les résultats sont encore plus décevants en ce qui concerne H2. En effet, on s'attendait à ce que l'augmentation du poids z de l'aléa individuel renforce la performance comparée des marchés de gros (croissance de la courbe représentant le rapport des rationnements). C'est un peu le cas dans les scénarios avec 15 GP (graphique c) mais pas du tout dans les scénarios avec 30 GP (graphique d).

La seconde conclusion concerne un résultat inattendu des simulations : il apparaît en effet que *la variable la plus déterminante de la performance comparée des deux institutions est le nombre de GP (N)*. En effet, lorsqu'il y a 15 GP, les réseaux sont toujours plus performants que les marchés de gros quels que soient les poids y et z des aléas portant sur les approvisionnements. Ceci se voit au fait que sur les graphiques a) et c), le rapport entre le rationnement engendré par les réseaux sur celui généré par les marchés de gros est toujours inférieur à 100%. En revanche, lorsqu'il y a 30 GP, ce sont toujours les marchés de gros qui s'avèrent plus performants. Ainsi, sur les graphiques b) et d), le rapport entre les deux rationnements est-il toujours supérieur à 100%.

4.4.2. L'analyse du niveau de performance des institutions

L'institution témoin (BOURSE) est une institution parfaite au sens où elle permet de mobiliser l'ensemble de l'information dispersée entre les acteurs du marché et ainsi de réaliser la meilleure allocation des ressources possible. Ceci ne signifie pas qu'elle suffit à éviter les rationnements car il existe des situations où les ressources disponibles sont inférieures aux besoins (du fait des aléas portant sur les approvisionnements des GP). Pour juger du niveau de performance des marchés de gros et des réseaux, il faut comparer leurs niveaux de rationnements avec ceux de l'institution témoin. Nous avons testé à chaque fois la performance comparée du témoin (BOURSE) et de celle des deux autres institutions qui est la plus performante (RESEAUX lorsqu'il y a 15 GP et PLACES lorsqu'il y a 30 GP). Les graphiques ci-dessous donnent le rapport des rationnements engendrés par l'institution témoin (BOURSE) et l'autre institution :

Figure 5. Niveau de performance des réseaux et des places de marché



Comme le montrent les graphiques ci-dessus, dans des environnements stables (y et z faibles) la performance des réseaux et des marchés de gros est assez faible. L'institution témoin (parfaite) se révèle alors beaucoup plus performante (avec des niveaux de rationnement représentant seulement 20 à 40 % de ceux engendrés par ces institutions). En revanche, lorsque l'approvisionnement des GP devient beaucoup plus aléatoire, l'écart de performance se resserre : pour les valeurs les plus élevées de y et z , le rationnement de l'institution témoin atteint 70 à 90 % de celui des autres institutions : les réseaux et les marchés de gros engendrent alors un rationnement supérieur de seulement 10 à 30% à celui généré par une allocation des ressources parfaite.

5. DISCUSSION

Le premier enseignement du modèle est une confirmation de l'intuition de F. Hayek et L. Hurwicz selon laquelle des institutions de marché relativement économes en matière de diffusion d'information peuvent conduire à une allocation des ressources efficace. En effet, les réseaux et les marchés de gros, tout en diffusant une quantité de bits d'information beaucoup moins importante que l'institution témoin parviennent à générer une allocation des ressources presque aussi bonne (tout au moins lorsque l'environnement est instable, ce qui est conforme à nombre de situations réelles). Ceci permet d'économiser énormément sur les coûts de déplacement ou de communication nécessaires pour réunir en un même lieu (réel ou virtuel) l'ensemble des acteurs du marché. C'est ce qui explique pourquoi la plupart des institutions de marché réelles se rapprochent davantage des marchés de gros ou des réseaux marchands que d'un gigantesque marché walrassien.

Le second enseignement concerne les performances comparées des réseaux marchands et des marchés de gros. Nous avons vu que dans certains cas les réseaux marchands se révèlent supérieurs aux marchés de gros en matière de diffusion d'information et d'allocation des ressources. Ceci va à l'encontre de l'idée reçue selon laquelle les marchés de gros sont de meilleurs systèmes de communication que les réseaux marchands (idée qui conduit à justifier des politiques publiques visant à la mise de place de marchés de gros pour favoriser la « transparence » du marché). Ce que montre le modèle, c'est que les réseaux marchands peuvent battre les marchés de gros sur leur propre terrain à savoir celui de la communication de l'information et de la transparence. Ceci devrait logiquement conduire à une remise à plat des politiques publiques dans ce domaine⁶.

Le troisième enseignement concerne les déterminants de l'efficacité comparée des réseaux marchands et des marchés de gros. Les simulations ont révélé le rôle déterminant du nombre

⁶ D'autant plus que la modélisation réalisée comporte différentes simplifications qui conduisent à minorer l'efficacité des réseaux. Ainsi, les coûts de réalisation des transactions et les besoins de crédit des commerçants n'ont pas été inclus dans le modèle alors qu'on sait que ce sont des points forts des réseaux. En outre, dans les réseaux réels l'initiative peut être prise dans les deux sens (par un GC qui a besoin de s'approvisionner et par un GP qui a accumulé un stock important). Cette possibilité pour les GP de prendre l'initiative (non représentée dans le modèle) est de nature à réduire les situations d'accumulation de stocks invendus dans les localités de regroupement et ainsi à diminuer le niveau de rationnement des consommateurs. Enfin dans les réseaux marchands qui régissent le commerce de gros des céréales au Mali existent deux modalités de recours pour les GC en cas de difficultés d'approvisionnement au sein de leur réseau. D'une part, les GP qui n'ont pas le stock demandé par leurs clients ont le devoir d'essayer de les obtenir auprès d'autres GP de leur localité, afin de satisfaire leurs clients. D'autre part, les grossistes des zones de consommation (GC) ont la possibilité d'acheter des céréales aux points de débarquement des camions à Bamako s'ils ne sont pas parvenus à s'approvisionner au sein de leur réseau.

de grossistes des zones de production (GP). En effet, lorsqu'il y a 15 GP, les réseaux se révèlent toujours plus performants que les places de marché alors que c'est le contraire lorsqu'il y a 30 GP. Ce résultat est en adéquation avec la réalité empirique des marchés céréaliers du Mali et du Bénin. En effet, au Mali l'activité est très concentrée au niveau des GP : on en rencontre seulement une dizaine par localité de regroupement. A l'inverse, au Bénin, cette activité est le fait de GP beaucoup plus petits et plus nombreux (entre 60 et 150 selon les localités de regroupement). Or, c'est effectivement au Mali (où les GP sont peu nombreux et de grande taille) qu'on rencontre les réseaux marchands et au Bénin (où l'activité au niveau des GP est beaucoup plus atomisée) qu'on trouve les marchés de gros.

On peut cependant se demander si c'est *le nombre absolu de GP* qui importe ou bien *le nombre relatif de GP et de GC*. A l'appui de la première thèse, on trouve l'idée que le nombre (absolu) de GP par localité avantage les marchés de gros du fait des arbitrages qu'ils permettent aux GC de réaliser entre les GP d'une même localité. A l'appui de la seconde thèse, on trouve l'idée que lorsque l'activité est plus concentrée au niveau des GP que des GC, chaque GP est en contact avec plus de GC, ce qui favorise la diffusion d'information entre les acteurs du marché. En effet, le système des réseaux marchands se caractérise par le fait que chaque GC ne réalise des arbitrages qu'auprès de ses correspondants GP donc *au sein de son réseau*. Les GC ne sont mis en connexion que d'une manière indirecte par le fait que plusieurs GC peuvent chercher à s'approvisionner chez un même GP : si un GP a vendu beaucoup à un GC, c'est l'ensemble des autres GC dont il est le correspondant qui va recevoir cette information sous forme d'une proposition d'achat comportant un prix élevé et/ou une quantité faible. Donc la capacité des réseaux à diffuser de l'information auprès des GC sur les achats réalisés par les autres GC dépend de manière cruciale du nombre de GC connectés à un même GP, c'est à dire *in fine* de du nombre relatif des GP et des GC. Le meilleure manière de trancher entre ces deux explications alternatives serait de refaire un jeu de simulations avec le modèle en faisant varier le nombre de GP et de GC.

Les aléas concernant l'approvisionnement des GP ne semblent pas avoir les effets attendus sur la performance comparée des deux institutions. Cependant, cet effet existe peut être quand même mais d'une manière plus *indirecte*. En effet, le modèle a montré que la performance des réseaux s'explique par la concentration de l'activité au niveau des GP. Mais cette concentration s'explique elle-même (au moins dans le cas des marchés céréaliers du Sahel) par la variabilité de l'approvisionnement des GP. En effet, les conditions agro-économiques difficiles de cette zone (notamment la faiblesse et l'imprévisibilité des récoltes cérésières et la faible diversification des revenus paysans) contraignent les familles rurales à vendre des céréales pour satisfaire leurs besoins d'argent. Cependant, pour ne pas dégarnir leur stock de céréales (servant à garantir l'alimentation de la famille), les quantités mises en marché sont limitées au strict minimum ce qui induit des ventes de très petits volumes au coup par coup en fonction des besoins d'argent. Devant l'atomicité et l'imprévisibilité des ventes des producteurs, la seule manière pour les GP de stabiliser leurs achats consiste à prospecter un grand nombre de producteurs (afin de faire jouer la loi des grands nombres). Dans le jeu de la concurrence, ceci favorise les gros GP (les seuls à pouvoir mobiliser les services de nombreux collecteurs) [Galtier 2002a]. On voit donc que les aléas concernant l'approvisionnement des GP déterminent le degré de concentration de l'activité à leur niveau et donc (indirectement) la performance des réseaux marchands.

6. CONCLUSION

La modélisation informatique de processus de marché s'est révélée pertinente pour expliquer comment une allocation des ressources performante peut émerger des interactions décentralisées de nombreux individus entre lesquels l'information est dispersée. Les simulations permettent en effet de reconstituer les flux d'information engendrés par les institutions de marché. D'autres outils peuvent être mobilisés aux mêmes fins comme la théorie des jeux ou les expérimentations de marché [Smith 1982 ; Roth 2001]. Les simulations informatiques semblent néanmoins plus adaptés que la théorie des jeux lorsqu'il s'agit d'analyser des marchés centralisés au sein desquels les transactions se déroulent « hors équilibre ». Elle permettent de faire intervenir beaucoup plus d'acteurs que les expérimentations et aussi de simuler les processus d'échange sur des pas de temps beaucoup plus longs. Tous ces outils sont néanmoins complémentaires. Il serait aussi intéressant de coupler analyse statistiques de prix réels et de séries de prix générées par le modèle. En effet, les analyses statistiques de prix étudient les relations entre les inputs d'information absorbés par le marché (sous forme de prix passés) et les outputs qu'il génère sous forme de prix présents. Le couplage avec des simulations informatiques permettrait « d'ouvrir la boîte noire du marché » en testant l'impact des règles comportementales des acteurs et celui des institutions de marché sur les mécanismes de fixation des prix. Par ailleurs, les simulations peuvent aussi être utilisées pour analyser l'impact des politiques publiques visant à renforcer la circulation de l'information au sein des marchés. Une telle analyse pourrait être appliquée aux systèmes d'information de marché qui collectent et diffusent à la radio une information sur les prix dans différentes localités [Dembélé et Staatz 1989].

Evoquons à présent quelques *perspectives de recherche ouvertes par ce travail*. La première consiste à approfondir l'analyse en réalisant de nouvelles simulations faisant varier le nombre de GP et de GC. La seconde porte sur l'inclusion des éléments liés au « langage » des institutions de marché. En effet, ce n'est pas seulement le réseau de communication par lequel circule les flux d'information qui importe. Le contenu des messages joue aussi un rôle crucial. Or ces messages (incarnés par les propositions d'achat et de vente des acteurs) sont exprimés à partir des règles qui définissent comment qualifier les différents paramètres de l'échange (prix, quantité, qualité, délais de paiement et de livraison, lieu de livraison) et comment les négocier [Galtier 2002b]. La troisième voie de recherche a trait à la prise en compte de l'impact des règles visant à garantir la réalisation des transactions (notamment le respect des engagements) sur les processus de diffusion de l'information au sein des marchés. Par exemple, au Bénin, les grossistes des zones de consommation (GC) qui doivent beaucoup se déplacer dans les zones de production du pays confient la vente de leur maïs à des courtiers (rémunérés à la commission). Cependant, il y a un risque d'aléa moral, puisque ces courtiers (dont le comportement n'est pas observable) peuvent avoir intérêt à déformer les propositions de vente formulées par les grossistes, ce qui introduit une source de « bruit » dans la communication au sein de la filière [Galtier 2002a]. En outre, les marchés ne sont pas les seules institutions cadrant la coordination économique entre les agents. Ainsi, dans les secteurs céréaliers ouest-africains, il existe d'autres systèmes d'allocation des ressources tels que *les systèmes de solidarité traditionnel (basé sur le don-contre-don) et modernes (basé sur l'aide alimentaire)*. Chacun de ces mécanismes est confronté à un problème de dispersion de l'information entre ceux qui nécessitent une aide et ceux qui sont en mesure de l'apporter⁷. La

⁷ C'est pourquoi il existe des systèmes d'information publics censé guider les donateurs : les systèmes d'alerte précoce (SAP)

même problématique peut donc leur être appliquée (avec les mêmes outils) : c'est la quatrième voie de recherche envisageable. Enfin, nous avons utilisé les simulations informatiques pour analyser l'auto-régulation d'un marché à institutions données. Il est également envisageable de les utiliser pour explorer les processus d'émergence de ces institutions [Kirman et Vriend 2000].

Bibliographie

- AMSELLE, J.-L. (1977). *Les commerçants de la savane : histoire et organisation sociale des Kooroko (Mali)*. Paris, Anthropos.
- DEMBELE, N. et J. STAATZ (1989). *Transparence des marchés céréaliers et rôle de l'état: La mise en place d'un système d'information des marchés au Mali*. Séminaire Européens des Economistes Agricoles.
- EGG, J., F. GALTIER, et E. GREGOIRE (1996). "Systèmes d'information formels et informels - La régulation des marchés céréaliers au Sahel." *Cahiers des Sciences Humaines* **32**(4): 845-868.
- FAFCHAMPS, M. et B. MINTEN (2001). "Social Capital and Agricultural Trade." *American Journal of Agricultural Economics* **83**(3): 630-685.
- GALTIER, F. (2002a). *Information, institutions et efficacité des marchés - Trois filières cérésières d'Afrique de l'Ouest analysées comme des systèmes de communication*. Thèse de doctorat en économie. Montpellier, ENSAM.
- GALTIER, F. (2002b). « Eclatement et incomplétude de la théorie des marchés » *Economies et Sociétés* (à paraître).
- GALTIER, F., S. DUPRESSOIR, et M. KONE (2002c). La naissance d'une filière, l'organisation d'une commercialisation privée du riz in *L'Office du Niger, grenier à riz du Mali - Succès économiques, transitions culturelles et politiques de développement*. P. Bonneval, M. Kuper and J.-P. Tonneau, CIRAD / Karthala: 135-139.
- GRANOVETTER, M. (1994). Les institutions économiques comme constructions sociales : un cadre d'analyse. *Analyse économique des conventions*. A. ORLEAN. Paris, PUF: 79-94.
- GREGOIRE, E. (1986). *Les Alahzais de Maradi : histoire d'un groupe de riches commerçants sahéliens*. Paris, Editions de l'ORSTOM.
- GREIF, A. (1993). « Contract Enforceability and Economic Institutions in Early Trade: The Maghribi Traders Coalition », *American Economic Review* **83**(3): 525-548.
- GROSSMAN, S. and J. STIGLITZ (1980). « On the Impossibility of Informationally Efficient Markets », *American Economic Review* **70**(3): 393-408.
- GROSSMAN, S. (1989). *The Informational Role of Prices*. Cambridge, MIT Press
- HAMADOU, S. (1997). *Libéralisation du commerce des produits vivriers au Niger et mode d'organisation des commerçants privés. Les réseaux marchands dans le fonctionnement du système de commercialisation des céréales*. Thèse de doctorat en économie, Montpellier, ENSA.M.
- HAYEK, F. (1937). « Economics and knowledge », *Economica* (4): 33-54.
- HAYEK, F. (1945). « The Use of Knowledge in Society », *American Economic Review* **35**(4): 519-530.
- HOFF, K., A. BRAVERMAN and J. STIGLITZ. (1993). *The economics of rural organization*, A World Bank Book.
- HURWICZ, L. (1969). « Centralization and Decentralization in economic systems - On the Concept and Possibility of Informational Decentralization », *American Economic Review* **59**: 513-524.
- IOANNIDES, Y. (2002). « Topologies of Social Interactions », Department of economics, Tufts University.

- KLEMPERER, P. (1999). « Auction Theory: A Guide to the Literature », *Journal of Economic Surveys* **13**(3): 227-286.
- KERBER, W. and N. SAAM (2001). « Competition as a Test of Hypotheses: Simulation of Knowledge-generating Market Processes », *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 4(3).
- KIRMAN, A. (1983). « Communication in Markets: A Suggested Approach. », *Economic Letters* **12**: 1-5.
- KIRMAN, A. and N. J. VRIEND (2000). « Evolving Market Structure: An ACE Model of Price Dispersion and Loyalty », *Journal of Economic Dynamics and Control (ACE Special Issue)*.
- KUIPER, E., C. LUTZ et al. (1998). *Vertical Price Leadership Within Marketing Channels of Local Maize Markets in Benin : a cointegration study*. 57th EAAE Seminar, Wageningen (Pays-Bas).
- LAMBERT, A. et J. EGG (1994). « Commerce, réseaux et marchés : l'approvisionnement en riz dans les pays de l'espace sénégalais. » *Cahiers des Sciences Humaines* **30**: 229-254.
- LE PAGE, C., F. BOUSQUET, et al. (2000). *CORMAS : A multiagent simulation toolkit to model natural and social dynamics at multiple scales*. Workshop "The ecology of scales", Wageningen (Pays-Bas).
- ROTH, A. (2001). « The Economist as Engineer: Game Theory, Experimentation, and Computation as Tools for Design Economics » *Econometrica* **70**(4): 1341-1378.
- NAEGELEN, F. (1998). *Les mécanismes d'enchères*. Paris, Economica.
- SMITH, V. (1982). « Markets as economizers of information : experimental examination of the "Hayek hypothesis" », *Economic Inquiry* 20: 165-179.
- WILLIAMSON, O. (1985). *The Economic Institutions of Capitalism*. NY, The Free Press, Mac Millan.