

# ADAPTER, OPTIMISER, PRÉVOIR

## La convergence des concepts, des outils, des technologies et des normes peut-elle accélérer l'innovation ?

**Dr Shoumen DATTA**

Chercheur, Département Ingénierie des Systèmes, Forum pour l'Innovation dans la chaîne logistique  
Directeur général de l'Ecole d'Ingénierie, Massachusetts Institute of Technology

*Les outils et procédés permettant de réduire les insuffisances de la chaîne logistique sont très précieux. La capacité à s'adapter peut en effet ne pas dépendre de la seule technologie mais d'une perpétuelle aptitude à l'innovation des processus dans la gestion de la Supply Chain. Pour cela, les dirigeants doivent être capables d'imaginer l'utilisation combinée de différents concepts, outils et technologies pour réduire les insuffisances, les incertitudes, et l'asymétrie de l'information dans le réseau de valeur. Cet article propose de combiner différentes idées dans un esprit d'approche « solutions » visant à améliorer les décisions.*

Les nouvelles technologies pour le Management Logistique Global (SCM) et la production flexible impliquent que les entreprises soient capables de percevoir très tôt les déséquilibres dans les stocks – virtuellement en temps réel – et puissent, en réaction à des signes d'accumulation non désirée, arrêter très vite la fabrication incriminée.

Alan Greenspan - Témoignage devant le Comité Sénatorial américain « *Banking, Housing and Urban Affairs* » (13 février 2001)

Cet article conceptuel vise à stimuler un large panel de décideurs qui voudraient pouvoir prendre de meilleures décisions en s'appuyant sur une connaissance plus approfondie tirée tant de l'innovation du processus que de l'analyse « au bon moment » de données en temps réel. Ce n'est pas la panacée pour s'affranchir des mauvaises étapes d'une prise de décision ; cela ne peut fonctionner qu'avec l'appui nécessaire, sinon approprié, des « facilitateurs » dont nous parlerons plus loin. Dans les systèmes décisionnels tels que, par exemple,

le Supply Chain Management (SCM) ou la disponibilité militaire, la gestion de l'incertitude est essentielle.

Nous proposons une convergence raisonnable des concepts, des outils, des technologies et des normes existants ; utilisés conjointement, ils peuvent améliorer l'adaptabilité des systèmes de décision pour lutter contre l'incertitude dans des applications aussi diverses que l'optimisation des profits ou le temps de réaction dans la disponibilité hospitalière ou militaire. Ces améliorations doivent viser à réduire le « bruit » et favoriser l'adaptabilité. Cette proposition est illustrée par la Figure 1.

En ce qui concerne les systèmes de décision, nous prendrons souvent le Supply Chain Management comme exemple et nous discuterons de la façon dont les pratiques actuelles de la chaîne logistique pourraient s'améliorer si les praticiens (les décideurs) adoptaient et utilisaient *réellement* un nouveau schéma de pensée, de nouveaux outils analytiques, de

### Avertissement

Cet article est vraiment très simplifié, incomplet et plein de digressions. L'auteur endosse la pleine responsabilité des éventuelles erreurs et incohérences, et il présente ses excuses au cas où la lecture en serait peu convaincante. Il espère que ce brassage d'idées (simple exploration) suscitera de nouvelles réflexions.

Outre les collaborateurs cités en fin d'article, l'auteur s'est permis d'utiliser plusieurs sources d'information pour « nouer les fils » et montrer comment des disciplines a priori éloignées peuvent, lorsqu'elles sont fusionnées, offrir de nouvelles directions de recherche. Enfin, la liste des références est tout à fait incomplète. Il est évident que la recherche initiale n'est pas due à l'auteur. En revanche, les opinions et commentaires exprimés ici sont bien les siens, et ne représentent en aucun cas la position du MIT en tant qu'institution ou celle des collaborateurs ou de leurs organismes d'appartenance.

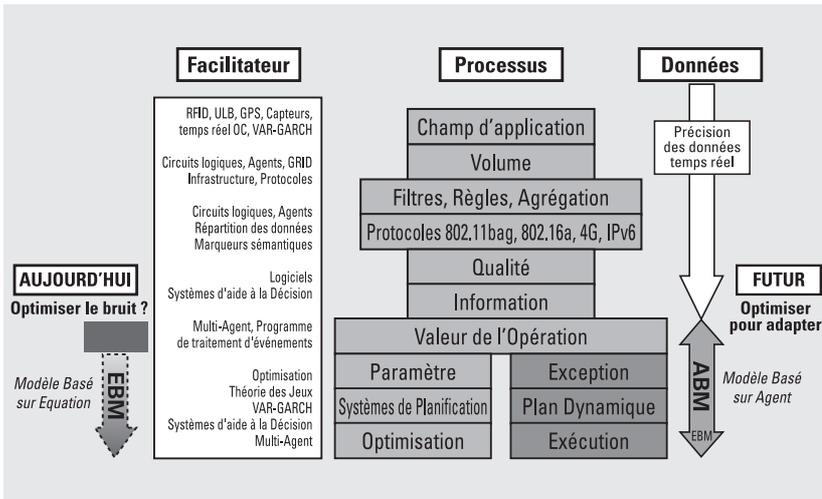
Pour les spécialistes, il est possible que cet article n'amène rien de neuf. Mais c'est la synthèse, la convergence des idées telle que le suggère l'auteur qui peut précipiter la transformation de certains systèmes décisionnels dans le sens de l'adaptabilité ou peut-être, avec le temps, de la prédiction.

Toute suggestion peut être adressée par courriel à l'adresse suivante : [shoumen@mit.edu](mailto:shoumen@mit.edu)

### Titre original

*Adapting Decisions, Optimizing facts and Predicting Figures:  
Can Confluence of Concepts, Tools, Technologies and Standards Catalyze Innovations*

**Figure 1 : Proposition pour passer de l'optimisation du « bruit » à une meilleure adaptabilité à l'avenir.**



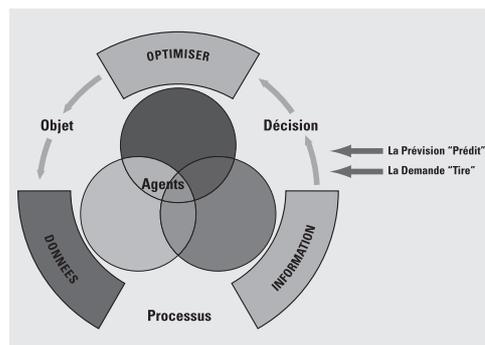
*Quand Napoléon affirmait (si tant est qu'il le fit réellement) : « ceux qui ont besoin de se forger une représentation mentale de chaque chose sont incapes au commandement », il faut comprendre cela comme la dénonciation du défaut originel. En effet, s'il aborde une bataille avec devant lui un tableau décrivant comment tel ou tel combat s'est déroulé dans telle ou telle circonstance, le chef militaire réalisera dès les premiers contacts que quelque chose a mal tourné. Son Figure est détruit ; et il ne lui reste plus rien, sauf peut-être une autre représentation personnelle, qui elle-même ne lui servira pas longtemps. Il est possible d'autre part, quand sa première prévision s'avère erronée, qu'il soit assailli par une telle masse d'images différentes que, là-aussi, il ne sache plus quelles adaptations pratiques faire. En fait, trop de références au passé peut être presque aussi gênant que pas de référence du tout. Pour répondre de manière appropriée aux exigences d'un environnement en constante évolution, nous devons non seulement sélectionner et extraire des éléments de leur cadre général, mais aussi savoir quelles en sont les parties qui peuvent circuler et muter sans modifier leur sens et leurs fonctions générales.*

F.C. Bartlett

I - Ou « appareil Internet ».  
Note du Traducteur.

nouvelles technologies et les normes émergentes pour réduire l'incertitude. **L'emploi** de données temps réel est déterminant pour l'industrie (commerce de détail, santé) et la défense. Pourtant, ces quelques dernières années (1999-2003), on a constaté un intérêt disproportionné pour les outils d'acquisition de données type Technologies d'Identification Automatique (AIT), dont un exemple particulièrement marquant est l'identification par fréquence radio (RFID). A notre avis, le bon point de départ d'une réflexion sur la réduction de l'incertitude du système, c'est de voir **comment** les données temps réel peuvent influencer sur le processus (opérationnel). L'emploi des AIT pour identifier des objets avec le RFID est intéressant quand ces données (systémiques, locales) deviennent utiles « **au bon moment** » eu égard au processus opérationnel. Mais il faut aussi que ces processus fournissent des **informations décisionnelles**, c'est à dire destinées à élaborer les

**Figure 2 : La connectivité des données temps réel et du processus (analytique temps réel) offre de meilleures informations pour les prises de décision.**



décisions rapidement, à s'adapter si nécessaire, et à réagir ou se mettre en situation de réagir. Cette connectivité, qui découle de la proposition esquissée par le Figure n°1, est illustrée par le Figure n°2.

Les données temps réel au « bon moment » (**données right-time**) peuvent modifier les processus opérationnels actuels et stimuler l'innovation. Cependant, il n'est pas suffisant de fournir des données temps réel aux « systèmes Legacy » ou aux ERP. Pour améliorer l'adaptabilité, les systèmes décisionnels doivent pouvoir accéder à l'information « **right-time** », elle-même fondée sur des données temps réel (analytique temps réel) provenant de différentes sources (marqueurs RFID, capteurs, GPS, codes à barres). Le débat sur le format (code électronique/EPC ou codification identifiant universel/UID) reste encore ouvert, mais cela ne devrait pas bloquer la réflexion, condition préalable pour que l'innovation des processus fasse bon usage des « données right-time. »

Il est possible que les architectures agnostiques de format (logiciels) détiennent la clé pour connecter les données temps réel à d'autres logiciels ou ERP. Mais il nous semble peu probable que les progiciels ERP puissent traiter ou analyser des flux de données temps réel de l'ordre du Gigabit. Certains avaient suggéré (et nous leur emboîtons le pas) de s'intéresser à l'utilisation d'un logiciel basé sur agent (ABM) **combiné** à un logiciel traditionnel basé sur équation (EBM) afin d'extraire l'information du flot croissant de données temps réel. La connectivité de ces données est tout aussi importante que le partage de l'information **entre entités** pour améliorer le processus de prise de décision. Et à son tour, ce partage de données ou d'information permet d'améliorer la performance de l'ensemble du réseau de valeur.

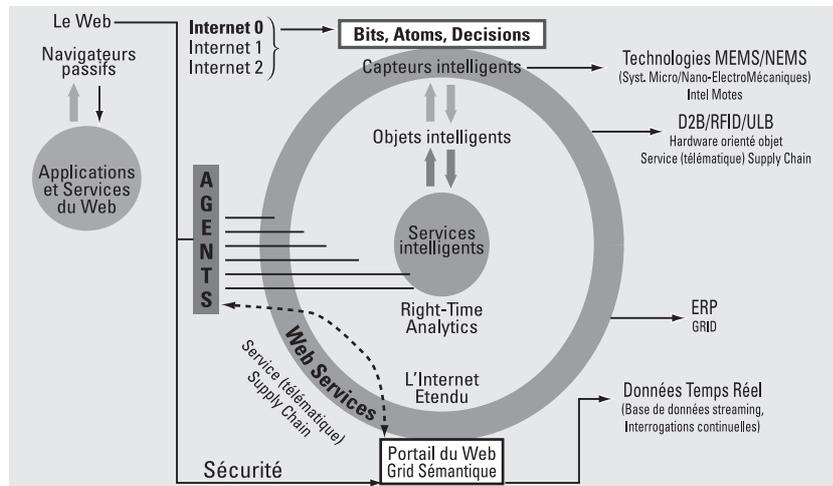
L'interaction entre entités exige une infrastructure sécurisée et une plate-forme diffuse totalement ouverte à la collaboration. Nous proposons une telle plate-forme (ubiquiste, agnostique avec transpondeur et appartenant à l'infrastructure civile) dans laquelle les interrogateurs de données sont des systèmes de radio logicielle (SDR-SWR). L'accès et le contrôle du partage des données sont régulés et authentifiés via la couche Application logicielle (transmise par l'Internet) de la même manière que pour une Internet « appliance<sup>1</sup> » avec régulation à distance (ex : allumer le four micro-onde tout en rentrant chez soi en voiture).

Dans les 5, ou plus vraisemblablement les 25 à 50 prochaines années, quand nous pourrons passer d'un statut opérationnel auto-adaptif à un statut *prédictif*, il nous faudra d'autres concepts et outils, probablement encore inconnus aujourd'hui. Cependant, en contribution à la phase prédictive des opérations, nous proposons une idée issue de l'économétrie des séries de temps. Tout simplement, il s'agit d'étudier la possibilité d'utiliser des données temps réel « brutes » (sans regroupement ni tri) pour mieux comprendre les changements et y réagir, quasiment en temps réel. Ceci peut aider à réduire encore plus les risques et l'incertitude, et peut-être même à atténuer l'effet Coup de Fouet (Bullwhip). De tels outils analytiques économétriques sont utilisés dans le domaine de la finance (volatilité des prix de la bourse). Si l'on peut modifier les outils économétriques (tels que le GARCH - Hétéroscédasticité conditionnelle autorégressive généralisée) pour les utiliser avec des données ODD (données dépendant d'objets) temps réel, cela non seulement nous aidera à prédire les paramètres clés de la chaîne logistique (prévision de demande, prix) basés sur les entrées (données temps réel) mais, en plus, pourra nous fournir une mesure du *risque* associé à la prédiction. Et pouvoir quantifier le risque dans la chaîne logistique est tout particulièrement intéressant.

En résumé, nous allons essayer dans cet article de combiner différentes idées dans un esprit d'approche « solutions » dont le but est de réduire l'incertitude et d'améliorer les décisions. Nous enchaînerons les notions, allant de la Théorie des Jeux à la simulation, via les Technologies d'Identification Automatique (AIT), l'Econométrie des séries de temps, le Grid Computing, les Agents et le Web Sémantique. Il est fort possible que des gouvernements, des sociétés, des firmes de consultants et des universitaires ayant une connaissance approfondie dans un ou plusieurs de ces domaines passent les quelques prochaines décennies à tenter de synthétiser un ou des modèles ou un *modus operandi* efficace pour combiner ces idées avec d'autres concepts, outils, technologies et normes émergents qui, utilisés conjointement, pourraient permettre de mieux saisir les incertitudes, les analyser, les réduire et y répondre (Figure n°4). Comprendre la convergence facilitera l'étude du paradigme entre adaptabilité et efficacité. Le cadre de gestion (tableau de bord des outils) pour diagnostiquer et déterminer l'équilibre dynamique (spécifique à l'industrie) peut optimiser le

### Infrastructure Ubiquiste de l'Internet 0 : Contrôle On/OFF des données Temps Réel

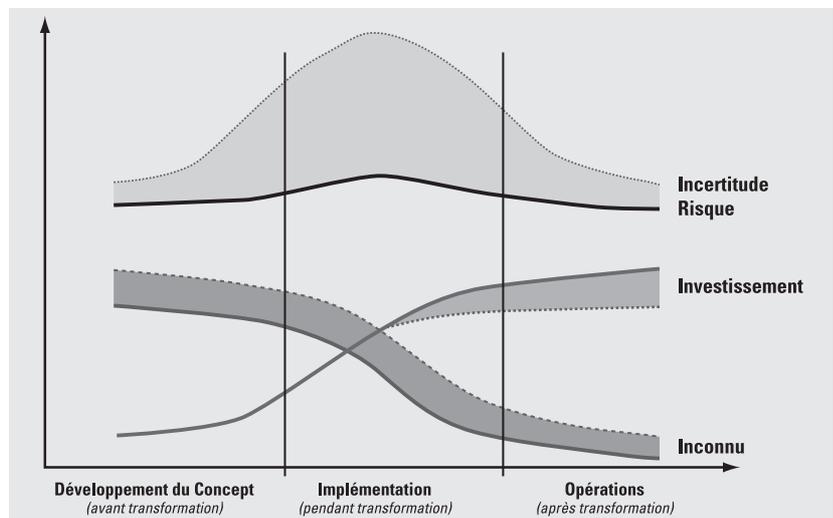
Figure 3 : Pour l'émergence de systèmes décisionnels adaptatifs, il est nécessaire de mettre en communication bits, atomes et décisions.



Depuis un bureau à Shinzen en Chine, vous vous connectez à un lecteur SDR situé dans un entrepôt aux Etats-Unis de manière à vérifier si vos produits sont arrivés en temps voulu. Ce fut le cas. Vous allez aussi apprendre que votre distributeur à Santiago du Chili et votre détaillant à Espoo en Finlande ont eux aussi vérifié où en était la livraison quelques instants avant vous.

### Réduire le risque et l'incertitude : Séparer cause et effet

Figure 4 : Investir dans la convergence des idées pour réduire le risque et l'incertitude : un pas vers l'Equilibre de Gibbs.



« push-pull » entre adaptabilité et efficacité dans la recherche de l'*Equilibre Dynamique de Gibbs*.

« Au musée de la Science à Barcelone, j'ai vu une exposition qui illustrait parfaitement le chaos. Une version non linéaire d'un pendule était montée de telle manière qu'un visiteur pouvait saisir le poids et le faire se balancer comme il voulait, à la vitesse qu'il voulait. On observait alors le déplacement du balancier tout en l'enregistrant avec un crayon sur une

feuille de papier. Puis on demandait au visiteur de reprendre la lentille et de reproduire exactement le même mouvement (position et vitesse). Quel que fût le soin qu'il y mettait, le résultat obtenu était très différent de ce qu'il était la première fois.

Je demandais au directeur du musée ce que faisaient les deux hommes debout dans un coin, qui nous observaient. Il me répondit : « Oh, ce sont deux Hollandais qui attendent d'embarquer le « Chaos » ». Apparemment, cette exposition devait être démontée et transférée à Amsterdam. Depuis, je me suis toujours demandé si les services de ces deux Hollandais n'allaient pas être recherchés un peu partout dans le monde par des organisations qui voudraient se débarrasser de leur « chaos [1]. »

Pour l'industrie, la quête du Graal, c'est de débarrasser la chaîne logistique du « chaos » pour mieux l'adapter aux fluctuations de la demande. La gestion de l'incertitude est obérée par le degré croissant d'asymétrie de l'information<sup>a</sup> entre les partenaires de la « chaîne » logistique ou du réseau de valeur<sup>b</sup> - designers, fournisseurs, distributeurs, détaillants, consommateurs, dont les objectifs sont différents et souvent opposés, ce qui risque de parsemer d'embûches le chemin des réseaux d'affaires adaptatifs de l'avenir [2].

Un des objectifs commerciaux des fournisseurs est d'obtenir des fabricants qu'ils s'engagent sur des achats fermes de grands volumes (mais avec flexibilité de livraison). C'est donc en contradiction avec l'objectif du producteur pour lequel une réaction rapide à une fluctuation de la demande conduit à un excédent des stocks de matières premières. Le fabricant doit produire en masse (pour profiter des économies d'échelle), mais les flux de production doivent s'adapter aux variations de la demande même si l'utilisation des ressources avait été planifiée sur la base de pré-

Ampex lança le premier magnétoscope en 1956. Chaque unité valait 50 000 USD et les seuls concurrents, RCA et Toshiba, étaient loin derrière. Sony, JVC et Matsushita étaient de simples observateurs. Masaru Ibuka, co-fondateur de Sony et Yuma Shiraishi, JVC, demandèrent à leurs ingénieurs respectifs de produire des appareils à 500 USD, soit à peine 1% du prix d'Ampex. Dans les années 1980, les ventes de magnétoscopes sont passées, chez Sony, de 17 millions à 2 milliards, chez JVC, de 2 millions à 2 milliards, chez Matsushita de 6 millions à 3 milliards de dollars US et pour Ampex [3], de 296 millions à 480 millions de USD.  
S'adapter ou Disparaître !

sions. En fait, le producteur peut avoir besoin de plus ou moins de matières premières et rechercher la flexibilité en jouant sur les quantités achetées, ce qui va à l'encontre de l'objectif du fournisseur. Le désir du fabricant de produire en grand nombre se heurte à son tour à celui des centres de stockage et de distribution qui cherchent à réduire les volumes stockés, leur coût augmentant les frais de transport pour l'ensemble des acteurs.

Pendant l'année 2000 et pour les USA seuls, les coûts relatifs à la chaîne logistique dépassèrent le trillion de USD (10% du PIB), c'est-à-dire à peu près le PIB russe et plus que le PIB du Canada ou même le PIB combiné des 22 pays membres de la Ligue Arabe (dont les riches nations pétrolières), lui-même étant inférieur à celui de l'Espagne. Une simple économie de 10% des coûts de la chaîne logistique aux USA équivaldrait pratiquement au PIB de l'Irlande[4].

En conséquence, les outils et procédés permettant de réduire les insuffisances de la chaîne logistique sont très précieux[5]. La capacité à s'adapter peut en effet ne pas dépendre de la seule technologie mais d'une perpétuelle aptitude à l'innovation des processus dans la gestion de la SCM. Pour cela, les dirigeants doivent être capables d'imaginer l'utilisation combinée de différents concepts, outils et technologies pour réduire 1/ les insuffisances, 2/ les incertitudes, et 3/ l'asymétrie de l'information dans le réseau de valeur.

Le but recherché, c'est de passer d'un management logistique global basé sur l'offre (« push ») à un réseau auto-adaptatif basé sur la demande (« pull »). Un des moteurs de cette transformation, c'est l'utilisation potentielle de données et d'informations temps réel comme déclencheur d'étapes de décision autonomes susceptibles d'effectuer simultanément re-planification et exécution. D'après différentes études, en 2003 les entreprises ont généré un flux de données par seconde supérieur à un téraoctet (sans compter les données rassemblées par les AIT). Doit-on considérer cela comme de l'information ? En l'état, c'est peu probable ! L'aptitude à extraire des renseignements à partir de données de manière à gérer l'information peut être le facteur de différenciation entre les entreprises qui sauront exploiter les données (telles que l'identification automatique ou les capteurs) et celles qui ne le sauront pas.

Les données stockées dans les ERP peuvent pâtir de problèmes qui réduisent la valeur de

a - L'asymétrie de l'information est un concept emprunté aux économistes et utilisé de façon assez informelle ici pour bien souligner le manque de visibilité de l'information (données) entre organisations. En 1776, dans *The Wealth of Nations*, Adam Smith avançait l'idée que les marchés en eux-mêmes donnaient des résultats efficaces. La preuve mathématique spécifiant les conditions dans lesquelles ceci était vrai fut apportée en 1954 par Gérard Debreu (Prix Nobel 1983) et Kenneth Arrow (Prix Nobel 1972) dans leur ouvrage *Existence of an equilibrium for a competitive economy*, *Econometrica*. En 1986, B. Greenwald et J. Stiglitz amenèrent la preuve que quand l'information est insuffisamment distribuée (asymétrie de l'information) ou les marchés imparfaits, l'équilibre compétitif est inefficace (*Globalization and Its Discontents*, de Joseph Stiglitz).

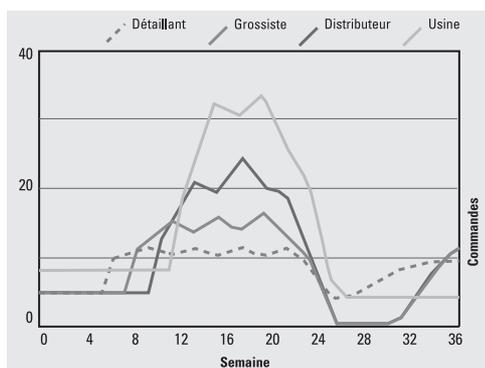
b - Les réseaux de valeur renvoient aux concepts avancés par Clayton Christensen dans son ouvrage *The Innovator's Dilemma* paru aux éditions Harvard Business School en 1997. Il se base sur les concepts de Giovanni Dosi et Richard Rosenbloom. Nous utiliserons indifféremment les expressions « management de la chaîne logistique - SCM » ou « réseaux de valeur ».

leur information. De même, les systèmes ERP peuvent compromettre l'efficacité des données dynamiques si les systèmes statiques sont incapables de répondre en temps quasi réel. Aussi, quand les planificateurs utilisent ce type de données ERP ou de sources d'information dans leurs prévisions ou optimisations, on peut s'interroger sur la validité du résultat. En effet, l'optimisation du processus ou la prévision elle-même peuvent avoir été fondées sur des « bruits » plutôt que sur des données dynamiques solides (cf. Figure n°1). La piètre qualité des données et l'asymétrie de l'information entre les différents partenaires de la chaîne logistique sont enfin sources d'erreurs (d'optimisation, de prévision), et celles-ci s'accumulent aux différents niveaux de la chaîne logistique, ce qui se traduit par l'Effet Coup de Fouet/Bullwhip<sup>6-9</sup>, comme le montre la Figure n°5. La Figure n°6 présente l'Effet Bullwhip basé sur des données réelles provenant de l'industrie des semi-conducteurs.

### Vers des réseaux auto-adaptifs ?

Les outils et technologies servant à lisser l'Effet Bullwhip peuvent aussi être utilisés pour inciter les chaînes logistiques à devenir auto-adaptives. Cela suppose que les organisations encouragent l'innovation des processus d'affaires visant à améliorer l'interaction entre entités (échanges d'information intra et inter-entreprises) et qu'elles recherchent aussi la disparition des silos de données. En réalité cependant, « culture » organisationnelle et gestion du changement sont nécessaires pour stimuler de nouveaux modes de pensées concernant la convergence des concepts, des outils, des technologies et des normes. Alors, quelques groupes pourront imaginer la manière de connecter des objets (atomes) chargés de données (bits) à des processus ou à l'analytique temps réel pour en extraire

Figure 5 : L'Effet Coup de Fouet/Bullwhip [10]



l'information temps réel destinée à des décisions auto-adaptives qui pourront, à leur tour, optimiser la nature (design, répartition) ou les caractéristiques (prix, risque) d'objets dans une chaîne télématique.

Tableau 1 : Eléments de la convergence de concepts, d'outils, de technologies et de normes proposée.

Outils et Concepts	Sources de Données
Recherche Opérationnelle	Technologies d'Identification Automatique (RFID, ULB, GPS, RTLS <sup>2</sup> )
Théorie des Jeux	Technologies d'identification (GPRS, Voix, Manuelle, Code à barres 2 <sup>e</sup> génération, Code à barres)
Agents (Intelligence Artificielle Distribuée)	Protocoles sans fil (802.11, 802.16)
Outils économétriques (ODD-VAR-GARCH)	Réseaux capteurs (technologie Zigbee - 802.15.4)
Web Sémantique	Systèmes de Radio Logicielle (swr).
Grid Computing	

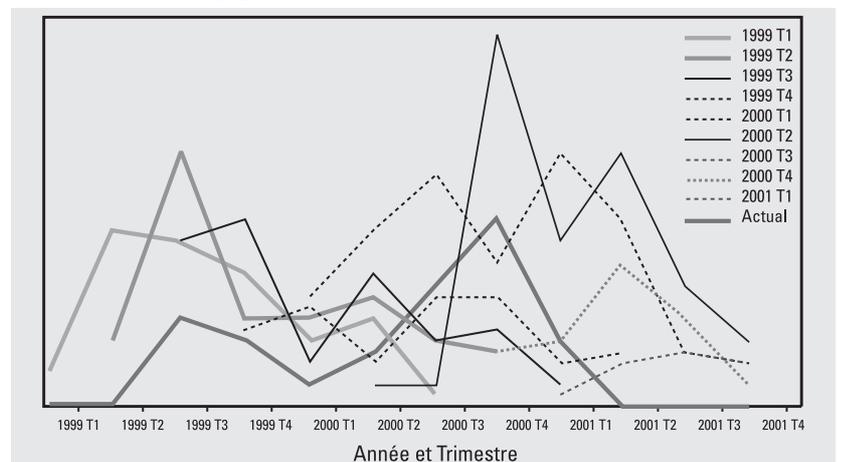
### Recherche Opérationnelle et Théorie des Jeux.

La locomotive de l'optimisation (les algorithmes), c'est la recherche opérationnelle. C'est un domaine de prospection intense et d'innombrables sources d'information sont disponibles<sup>c</sup>. La Théorie des Jeux n'était pas un nom d'usage courant jusqu'en 1994, date à laquelle les travaux de John Nash, et le film dont il fut l'objet, incitèrent les journaux économiques généralistes à en découvrir progressivement les vertus. Pendant des siècles, les économistes ont travaillé sur différents modèles de jeux théoriques, mais on considère que les pères de la Théorie des Jeux moderne [12]

2 - RTLS : Real-Time Location System = Système de localisation temps réel = RTLS. N.d.T

c - Cet article n'a pas pour but de rentrer dans le débat Recherche Opérationnelle et Théorie des Jeux. Nous souhaitons seulement fournir quelques descriptions et indications simples sur les possibilités des applications de la Théorie des Jeux dans la SCM. Ces applications, en elles-mêmes, ne rendent pas la SCM plus réactive, mais les modèles proposés peuvent offrir des vues plus profondes. La plupart des entreprises sont largement sous-optimisées. Et dans ce cas, savoir si l'information temps réel peut être une valeur ajoutée est strictement spéculatif. Aussi l'optimisation, incluant les outils théoriques des jeux, peut-elle être nécessaire pour « régler la machine » avant que l'information temps réel ne puisse aider à adapter la SCM aux événements. Pour un excellent débat sur l'utilisation de la Théorie des Jeux dans le SCM, voir : 1/ Competition in the Supply Option Market, Etudes de V. Albeniz et D. Simchi-Levi, MIT 2003, et 2/ Game Theory in Supply Chain Analysis, de G. Cachon et S. Netessine paru dans « Supply Chain Analysis in the eBusiness Era » sous la direction de D. Simchi-Levi, D. Wu et Z. Shen et publié par Kluwer Academic Press.

Figure 6 : L'Effet Coup de Fouet dans la chaîne logistique de l'équipement semi-conducteur montre les prévisions de demande par rapport à l'achat réel d'équipement [11]



sont John von Neumann et Oskar Morgenstern (1944). Cette théorie a connu depuis lors de fantastiques développements, dont le concept de l'équilibre, les jeux avec une information incomplète, les jeux coopératifs et les enchères [13-18, 25].

La Théorie des Jeux nous aide à modéliser, analyser et comprendre le comportement des nombreuses parties prenantes qui interagissent dans le processus de prise de décision. En tant que telle, cette théorie s'occupe des problèmes d'optimisation interactive. C'est, en particulier, un outil d'analyse de situations dans lesquelles les parties s'efforcent de maximiser leurs propres bénéfices (espérés) en même temps qu'elles choisissent leur stratégie. Au final, les dividendes de chaque partie dépendent du profil des stratégies choisies par l'ensemble des parties. La plupart des situations économiques peuvent être modélisées par un « jeu » car, dans toute interaction impliquant deux parties ou plus, le bénéfice de chacune dépend des actions de l'autre. Donc le thème essentiel dans la Théorie des Jeux est **Interactions**. Dans le monde des affaires, chaque décideur est un acteur qui prend une décision ou choisit une stratégie qui sera influencée par le concurrent. Et on suppose que les hommes d'affaires font des choix rationnels pour optimiser leurs bénéfices.

Pourquoi les entreprises se comportent-elles ainsi ? Dans cette situation, et dans quelques autres, elles sont confrontées à ce qui, dans la Théorie des Jeux, est connu sous le nom de « Dilemme du Prisonnier », la réponse rationnelle n'étant pas forcément la plus sensée<sup>d</sup>.

### Le Dilemme du Prisonnier

Alice et Bob sont arrêtés près du lieu d'un cambriolage. Ils sont interrogés séparément. Chaque suspect peut soit avouer, avec l'espoir d'une peine plus légère, soit refuser de parler (ne pas avouer). La police n'a pas d'informations suffisantes pour les inculper, à moins que l'un d'eux n'avoue. Chacun doit donc choisir entre avouer et incriminer l'autre ou se taire, sans savoir ce que l'autre va faire. Si aucun

Un fabricant de puces casse les prix de ses processeurs d'ordinateurs de bureau et portables plusieurs jours après un mouvement similaire d'un rival. « Nous allons faire tout ce qu'il faudra pour rester compétitifs sur les prix », dit un représentant. La politique agressive de réduction des prix de la compagnie signifie que la compagnie ne veut pas abandonner ses gains sur ce marché, même au prix de pertes en final. (CNet, 30 mai 2002)

n'avoue, tous les deux encourent alors une peine d'un an de prison pour port d'armes prohibé. Si les deux avouent et s'accusent mutuellement, ils écoperont de dix ans de prison. Mais, si l'un des voleurs avoue et accuse l'autre et que l'autre n'avoue pas, alors celui qui a coopéré avec la police ressortira libre tandis que l'autre sera condamné à la peine maximale, 20 ans de prison. Dans ce cas « l'espace stratégique » est simple : avouer ou ne pas avouer, et chacun choisit une des deux stratégies. Les dividendes (pénalités) sont les peines infligées.

**Tableau 2 : Le Dilemme du Prisonnier : Alice (colonne) opposée à Bob (ligne).**

		Alice	Alice
		avoue	n'avoue pas
Bob	avoue	10 - 10	0 - 20
Bob	n'avoue pas	20 - 0	1 - 1

Dans ce tableau, les nombres représentent les peines encourues par les prisonniers suivant les combinaisons de stratégies choisies. celui de gauche est pour la personne située dans les lignes (Bob), celui de droite pour celle figurant dans les colonnes (Alice). Ainsi, la lecture de la première colonne donne, de haut en bas : si tous les deux avouent, chacun est condamné à 10 ans, mais si Alice est la seule à avouer, Bob est alors condamné à 20 ans et Alice est libre.

En conséquence, quelles sont les stratégies « rationnelles » dans ce jeu si tous deux veulent avoir la peine la plus légère ? Alice va faire le raisonnement suivant : « De deux choses l'une : ou Bob avoue, ou il se tait. S'il avoue, je prends 20 ans (si moi, je n'avoue pas) et 10 ans si j'avoue (si je coopère) ; dans ce cas, il est préférable que j'avoue. D'un autre côté, si ni Bob ni moi n'avouons, j'écopé d'une année ; mais là, si j'avoue, je ressorts libre. Dans les deux cas, il s'avère préférable que j'avoue. Donc, je vais avouer. » Mais Bob peut, et vraisemblablement va, suivre le même cheminement intellectuel.

Les deux individus raisonnent de façon **rationnelle**, avouent et prennent chacun 10 ans. Or s'ils avaient agi de façon irrationnelle et n'avaient pas avoué, ils n'auraient écopé chacun que d'une année seulement [19].

Le Dilemme du Prisonnier est un exemple simple de jeu statique non-coopératif dans lequel les joueurs choisissent en même temps leur propre stratégie, et doivent s'y tenir. L'élément principal de ces jeux, c'est l'existence et la spécificité de l'équilibre de Nash (NE). NE est le point où aucun joueur n'a inté-

<sup>d</sup> - A.W. Tucker, de Princeton University (il était conseiller de John Nash pour son doctorat), est l'auteur du Dilemme du Prisonnier. Au printemps 1950, il était à Stanford University et son bureau, à cause d'un manque de place, se trouvait au Département de Psychologie. Un jour, un psychologue frappa à sa porte et s'enquit de ce qu'il était en train de faire. Tucker répondit : « Je travaille sur la théorie des jeux. » Le psychologue lui demanda s'il pourrait faire une conférence sur son travail. Et il l'intitula « Le Dilemme du Prisonnier. » ([www.nobel.se/economics/laureates/1994/nash-lecture.pdf](http://www.nobel.se/economics/laureates/1994/nash-lecture.pdf)).

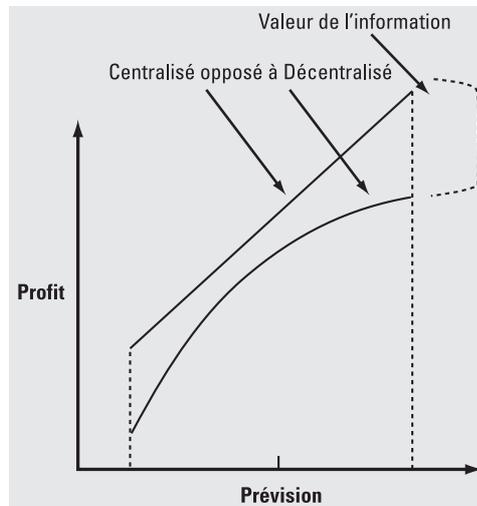
rêt à changer sa stratégie puisque chacun a choisi celle qui maximalise ses propres bénéfices compte tenu des stratégies des autres joueurs.

Un concept clé qui n'a pas été mis en exergue dans le Dilemme du Prisonnier, c'est la répétition des interactions. Or dans le monde des affaires, les joueurs savent qu'ils sont dans le « jeu » pour longtemps. Ils peuvent donc choisir de coopérer, surtout s'ils estiment que cette démarche a des chances de faciliter la coopération, voire la collaboration de demain. C'est par des actions répétées que les compagnies se bâtissent une réputation, qui influence les actions des autres. Par exemple, Intel Corp. utilise son programme de notation « fournisseurs », qui évalue, pour chacun d'entre eux, les coûts, la disponibilité, le service, la rapidité de réaction et la qualité des prestations. Il maintient ainsi ses principaux fournisseurs dans une course permanente à l'excellence. « Nous récompensons les fournisseurs qui ont les meilleures notes en faisant plus d'affaires avec eux », dit Keith Erickson, Directeur des Achats. Et comme incitation supplémentaire, Intel Corp. englobe de temps en temps ses meilleurs fournisseurs dans ses publicités. La compagnie laisse même les plus performants se prévaloir de leurs relations avec Intel Corp dans leur propre publicité.

Dans la réalité, chaque partie de la chaîne logistique agit de façon tout à fait égoïste. Et donc la somme des choix individuels n'aboutit pas à un résultat optimal pour l'ensemble de la chaîne. Le bénéfice d'une chaîne « décentralisée » composée de multiples compagnies gérées indépendamment est en général inférieur au total des bénéfices de la version centralisée de la même chaîne, version dans laquelle les interactions entre partenaires (fournisseurs, fabricants, détaillants) sont gérées par un seul décideur (moins d'inconnues) de façon à optimiser les bénéfices au profit de l'ensemble. Le partage de l'information dans cette dernière configuration réduit les évidentes insuffisances de la version décentralisée, qui sont dues à la « double marginalisation » découlant d'un processus de décision égocentrique. Donc, le bénéfice optimum est plus important dans une chaîne centralisée où l'information est partagée.

Une stratégie de réduction des carences dans une chaîne décentralisée est « l'intégration verticale » : une entreprise possède chaque élément de sa chaîne logistique. Ford Motor Company en fut un bon exemple. De nos

**Figure 7 : Valeur du partage de l'information – Accroissement du gain pour l'ensemble de la chaîne logistique (performance)**



jours, les demandes et préférences des consommateurs changent rapidement. Les compagnies qui se concentrent sur leur métier de base sont généralement plus réactives pour rester en tête de la compétition. En conséquence, on constate une tendance à « l'intégration virtuelle » dans laquelle les chaînes logistiques sont constituées de compagnies gérées indépendamment mais étroitement associées. Des stratégies fondées sur le partage de l'information comme celle de la gestion partagée des approvisionnements (VMI – Vendor Managed Inventory) sont utilisées par quelques firmes (Dell, P&G, Wal Mart).

En dépit de progrès dans le partage de l'information, il est rare que les chaînes logistiques actuelles disposent d'une connaissance totale des acteurs et des décisions ou des résultats. Il est courant qu'une firme ait une meilleure prévision de la demande qu'une autre ou qu'elle ait une meilleure information sur ses propres coûts et procédures de fonctionnement. Si une entreprise sait qu'une autre est susceptible d'avoir une meilleure information, elle peut choisir des modes d'action intégrant cette donnée. La Théorie des Jeux donne des outils pour étudier des cas avec une asymétrie de l'information d'une complexité analytique croissante. Pour illustrer ceci, nous allons nous intéresser à un type particulier de jeu, le Jeu de Signaux [20].

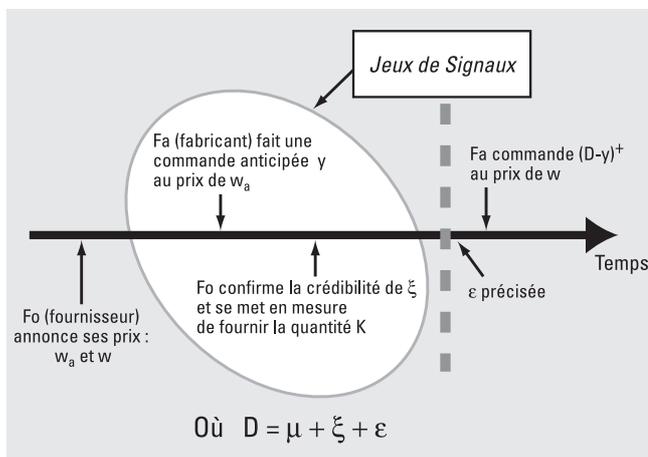
### Jeu de Signaux

Dans sa forme la plus simple, le Jeu de Signaux se joue à deux. Un joueur a de meilleures infor-

mations que l'autre, et celui qui est le mieux informé bouge le premier. Par exemple, un fournisseur doit se mettre en situation de fournir un composant clé de la production d'un fabricant. Celui-ci a une meilleure prévision de la demande que le fournisseur. Dans un monde idéal, il pourrait partager son information avec son fournisseur pour que celui-ci se dote de la capacité appropriée. Mais il a aussi intérêt à ce que son fournisseur dispose d'un volume de composants plus important au cas où la demande serait plus forte que prévue. Il a donc intérêt à gonfler ses prévisions. Ce sera alors le fournisseur, s'il se fie au fabricant, qui supportera le coût de l'augmentation de ces volumes. Le fabricant espère donc que le fournisseur va le croire et augmenter ses réserves. Heureusement, ce dernier connaît le « jeu » du producteur. Quel geste (signal) venant du fabricant pourrait-il bien inciter le fournisseur à considérer comme crédibles les prévisions du fabricant ?

Dans cet exemple, la demande  $D$  est en fait la somme de trois prévisions. La prévision du marché ( $\mu$ ) est faite par des analystes. Le fabricant, à partir de ses sources ou de son expérience, établit ses propres prévisions  $\xi$  ( $\xi$ ) qui, dans un système décentralisé, ne sont pas portées à la connaissance du fournisseur (asymétrie de l'information). Cependant, celui-ci, par son expérience, s'est constitué une grille de classement des fabricants fondée sur leurs antécédents et leur crédibilité. Ainsi, le fournisseur confirme la confiance qu'il accorde au « type » d'information prévisionnelle du fabricant et peut choisir une valeur de  $\xi$  censée être représentée par une distribution normale. Ceci introduit une variable aléatoire (stochastique). L'incertitude du marché est représentée par  $\epsilon$  dont ni le fabricant ni le fournisseur ne peuvent contrôler la valeur. C'est donc une

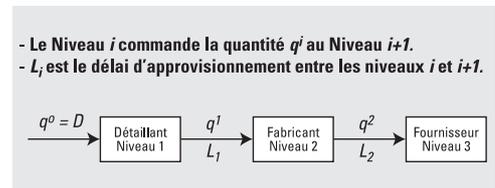
Figure 8 : Le Jeu de Signaux.



autre variable aléatoire (terme d'erreur), *censée* appartenir elle aussi à une distribution normale.

Ces hypothèses, qui ne sont pas rigoureusement quantifiées et que l'on suppose appartenir à une fonction donnée par une distribution normale, introduisent une variabilité. De telles erreurs s'accumulent au fil de chacune des étapes des chaînes logistiques (voir Figure n°9), contribuant ainsi à l'apparition de l'Effet Bullwhip. Nous énoncerons plus loin une proposition pour étudier comment on pourrait réduire ces écarts en se servant de données temps réel avec des outils analytiques combinant méthodes statistiques et dernières avancées dans l'économétrie des séries de temps [21].

Figure 9 : Les données temps réel peuvent-elles influencer sur la chaîne logistique traditionnelle au « bon moment » ?



Le jeu de signaux tel que décrit ci-dessus démarre par l'annonce des prix par le fournisseur : un prix ordinaire ( $w$ ) et un prix pour achat anticipé ( $w_a$ ). Le fabricant établit sa prévision de commande et, s'appuyant sur la fiabilité qu'il accorde à ses prévisions, il réagit à la proposition de prix global du fournisseur en émettant une commande anticipée ( $y$ ) au prix convenu de  $w_a$ . Le volume de  $y$  envoie un « signal » au fournisseur, qui s'en sert pour confirmer la crédibilité qu'il doit accorder à la prévision «  $D$  » du fabricant. Fort de cela, le fournisseur peut donc déterminer ce que doit être sa capacité de fourniture ( $K$ ) de manière à optimiser ses profits (risque inventaire). Au fur et à mesure, l'incertitude du marché se précise et le fabricant met à jour ses prévisions en utilisant cette valeur ( $\epsilon$ ). Il commande alors à son fournisseur le volume  $D-y$ , à un prix plus élevé ( $w$ ). Bien que l'optimisation fondée sur des signaux puisse accroître les profits du fabricant et du fournisseur, elle demeure cependant sujette aux erreurs commises dans la valeur attribuée aux variables  $\xi$  et  $\epsilon$ .

Le Jeu de Signaux permet de penser qu'un bon moyen de réduire les incertitudes serait de mieux préciser la valeur des variables  $\xi$  et  $\epsilon$ . On dispose déjà d'un large éventail d'outils de recherche et d'optimisation pour s'attaquer à ces valeurs ou à la façon d'obtenir des valeurs

sûres. Cependant, la persistance d'amples variations dans les chaînes logistiques montre que les outils existants pour lutter contre l'incertitude ne sont pas forcément adaptés. C'est, en partie, l'une des raisons pour lesquelles **nous proposons l'emploi de données temps-réel pour réduire les erreurs, notamment pour les valeurs des variables  $\xi$  et  $\varepsilon$ .**

### Odd-var-garch : Un outil analytique pour mieux utiliser les données temps-réel.

Les outils actuels de prévision peuvent être obérés par :

- des données de piètre qualité,
- des données agrégées,
- une visibilité réduite pour les décideurs,
- des modèles de flux de données médiocres,
- une architecture informatique incomplète.

La précision d'une prévision tient en partie à l'adaptation des modèles mathématiques aux processus des entreprises. Pour autant, même avec de meilleurs outils statistiques, le décrochage entre fonctionnement et stocks sera cause d'inadéquation. Seule la **convergence des données, des processus et des décisions permettra** d'obtenir une réelle visibilité.

Nous avons à notre portée une excellente occasion d'étudier les outils statistiques avec des flots à ultra haut-débit de multi-gigabits de données précises.

Un modèle proposé est le **Odd-var-garch<sup>3</sup>** (Données Liées à l'Objet – AutoRégression Vectorielle – Hétéroscédasticité AutoRégressive Conditionnelle Généralisée). Ce n'est que maintenant qu'arrive à maturité ce secteur de recherche qui vise à combiner des modèles séparés dans le but d'envisager la possibilité d'étudier les séries de temps dans les systèmes de supply chain.

Les modèles de séries de temps peuvent établir un rapport entre les valeurs « actuelles » d'une variable critique et ses valeurs passées (précédentes), et les **valeurs** des perturbations actuelles ou passées ou des termes d'erreur aléatoires. En ce qui nous concerne, pour étudier cette modélisation, examinons les prévisions de demande du marché D :

$$D = \mu + \xi + \varepsilon$$

sachant que :

En 1959, GE confia à la firme de consultants Arthur D. Little Inc. de Boston une étude pour déterminer s'il y avait ou non un marché pour des téléviseurs portables que GE était maintenant en mesure de construire en utilisant des transistors solides. Au bout de plusieurs mois, toujours en 1959, et après avoir dépensé des sommes vertigineuses (des millions de dollars) en groupes d'études ad hoc et en discussions, Arthur D. Little Inc. transmitt ses conclusions à GE : il n'y avait pas de marché pour de tels téléviseurs. La direction de GE écarta donc ce projet proposé par ses ingénieurs... Juste avant Noël 1959, Sony introduisait sur le marché américain un petit téléviseur B&W et en vendit plus de 4 millions en quelques mois [3].

« A l'opposé, des centaines de nouveaux MBAs intègrent chaque année des groupes aussi prestigieux que McKinsey et Cie, et presque autant en partent. Mais la firme réussit, année après année, à obtenir des résultats remarquables parce que ses compétences intrinsèques sont enracinées dans ses méthodes et ses valeurs plutôt que dans ses ressources (vision). J'estime cependant que cette force de McKinsey est en même temps sa faiblesse. Les processus rigoureusement analytiques et basés sur des données qui l'aident à dégager des profits pour ses clients sur les marchés actuels, relativement stables, le rendent beaucoup moins compétent sur les marchés des technologies [22]. »

$\mu$  = Prévision des marchés,  
 $\xi$  = Information des fabricants, et  
 $\varepsilon$  = Incertitude des marchés.

Pour déterminer  $\mu$ , on peut exprimer le Modèle de Régression Linéaire Classique (CLRM) couramment utilisé comme une équation linéaire :

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 X_t + \varepsilon_t \quad (0)$$

dans laquelle :

Y = variable dépendante utile pour être modélisée à fins de prévision,  
t = période de temps,  
 $\beta$  = coefficients à évaluer,  
X = variable explicative, et  
 $\varepsilon$  = terme d'erreur aléatoire (stochastique).

Cette technique simple peut modéliser de multiples variables explicatives puisque la variation en Y dépend de paramètres multiples. Cependant, le CLRM **suppose** que  $\varepsilon$  est caractérisé par une **distribution normale** avec une moyenne = 0 et une variance =  $\sigma^2$  pour toutes les périodes de temps (t) :

$$\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$$

Le but du CLRM est d'évaluer les paramètres ( $\beta_0, \beta_1$ ) du modèle en fonction de l'échantillon des observations faites sur Y et X. Ce procédé statistique introduit deux sources d'erreur. En effet :

- 1/ prendre des données *échantillon* à partir d'observations entraîne nécessairement des erreurs d'échantillonnage, et

<sup>3</sup> - Object Data Dependent – Vector AutoRegression – Generalized AutoRegressive Conditional

2/ étant données les multiples combinaisons de  $(\beta_0, \beta_1)$  que l'on peut évaluer, le but du CLRM est de choisir le couple  $(\beta_0, \beta_1)$  qui minimise la somme des restes au carré :

$$\sum_{t=1}^n e_t^2$$

dans laquelle :  $e_t$  est le terme d'erreur aléatoire pour les données « échantillon »,  $\varepsilon_t$  est le terme d'erreur aléatoire des données « population », prise comme un tout.

Cette technique (le principe des moindres carrés ordinaires - OLS<sup>4</sup>) minimise les erreurs de prévision en sélectionnant la paire  $(\beta_0, \beta_1)$  la plus pertinente.

Le CLRM combiné aux données temps réel (RFID) représente une avancée. Cette (combinaison) idée est tirée des modèles arch et garch. **Odd-var-garch** a besoin de grands volumes de données et donne des prévisions avec une bien plus grande précision que ne le pourrait n'importe lequel des composants particuliers pris séparément.

Odd-var-garch requiert des progressions de type séquentiel pour combiner le CLRM avec les techniques de séries de temps. Une équation CLRM élémentaire est (1) :

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 X_{1t} + \beta_2 X_{2t} + \dots + \beta_k X_{kt} + \varepsilon_t$$

Et, parce que la **dépendance du processus** est capitale pour la réussite, la fourniture de données d'identification automatique temps réel à de vieux modèles de processus ne peut produire que des avantages mineurs.

Une tâche pour l'innovation du processus est d'étudier comment les « X » changent avec le temps réel. Dans la prochaine étape du développement de Odd-var-garch, les valeurs des « X » sont prévues, d'après les données historiques, pour obtenir une **prévision incondi-**  
**tionnelle** de « Y ». Un modèle uni-variant est adapté à « X », dans lequel on utilise les valeurs passées (précédentes) de « X » pour prévoir « X ».

$$\begin{aligned} X_{1t} &= \alpha_{01} + \alpha_{11} X_{1t-1} + \alpha_{12} X_{1t-2} + \dots \\ &\quad + \alpha_{1N_{X1t}} X_{1t-N_{X1t}} + u_{X_{1t}} \dots \\ \dots X_{kt} &= \alpha_{0k} + \alpha_{1k} X_{kt-1} + \alpha_{12} X_{kt-2} + \dots \\ &\quad + \alpha_{1N_{Xkt}} X_{kt-N_{Xkt}} + u_{X_{kt}} \dots \end{aligned} \quad (2)$$

4 - OLS = Ordinary Least Squares.

5 - Automatic Identification Technology

6 - Stock Keeping Unit = unité de stockage

(3) :

$$\begin{aligned} Y_t &= \beta_0 + \sum_{i=1}^{N_{X1}} \alpha_{1i} X_{1t-i} + \dots + \sum_{i=1}^{N_{Xkt}} \alpha_{ki} X_{kt-i} + \varepsilon_t \\ Y_t &= \beta_0 + \sum_{K=1}^K \sum_{i=1}^{N_{Xkt}} \alpha_{ki} X_{kt-i} + \varepsilon_t \end{aligned} \quad (4)$$

sachant que :

$X_{1t}$  = variable  $X_1$  au temps  $t$ ,

$X_{kt}$  = variable  $X_k$  au temps  $t$ ,

$X_{1t-1}$  = valeur de  $X_1$  au temps  $t-1$  (valeur précédente),

$N$  = période jusqu'à laquelle les valeurs précédentes de  $X_{1t}$  peuvent être utilisées dans l'équation, et

$U$  = terme d'erreur aléatoire.

Dans l'équation 2,  $\alpha_{11}$  et  $\alpha_{12}$  sont coefficients de  $X_{1t-1}$  et  $X_{1t-2}$  et sont appelés coefficients de pondération décalés. Suivant le nombre de « X » dans l'équation 1, on aura un nombre  $K$  d'équations qu'il faudra évaluer pour prévoir les « X » ( $X_1, \dots, X_K$ ) qui seront alors utilisés pour obtenir une prévision incondi-  
tionnelle de « Y ». Ainsi, nous pouvons évaluer tous les paramètres  $(\alpha, \beta)$  simultanément en re-écrivant l'équation CLRM élémentaire (équation 3 ou 4). L'équation 5, qui prend en compte l'impact sur  $Y$  des valeurs passées de  $Y$  lui-même, est de préférence (5) :

$$Y_t = \beta_0 + \sum_{j=1}^{N_Y} \varphi_j U_{t-j} + \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^{N_{Xkt}} \alpha_{ki} X_{kt-i} + \varepsilon_t$$

sachant que  $N \sim$  nombre de valeurs précédentes pour chacun des « X » dans le modèle.

En passant aux prévisions incondi-  
tionnelles de « Y », on accroît énormément le nombre de paramètres à évaluer, ce qui nécessite un important **volume** de données précises (AIT<sup>5</sup>).

Il se peut que les entreprises plus petites se plaignent qu'il leur est impossible d'évaluer 6000 paramètres ou plus pour chaque sku<sup>6</sup>. Pourtant, cela deviendra faisable en recueillant, via le grid, la puissance de traitement non utilisée dans de nombreux domaines.

On peut élargir l'équation 5 de manière à englober le principe d'application de la co-intégration dans les systèmes décisionnels. La plupart des planificateurs pratiquent l'analyse de régression en la **supposant** fixe, produisant ainsi « des régressions fausses ». L'idée de variables multi-co-intégrées a été développée par l'introduction du concept de degré d'intégration d'une variable. Si une

variable peut être rendue plus ou moins fixe en la différenciant  $d$  fois, on dit qu'elle est intégrée de l'ordre  $d$ , ou  $\sim I(d)$ . Des variables aléatoires faiblement fixes sont par conséquent  $I(0)$ . Beaucoup de variables (macro-économiques) peuvent être considérées comme des variables  $I(1)$ . Si  $Z_t \sim I(1)$ , alors  $\Delta Z_t \sim I(0)$ .

Considérant le CLRM :  $Y_t = \beta_0 + \beta_1 X_t + \varepsilon_t$

supposons que  $Y_t \sim I(1)$  et en même temps  $X_t \sim I(1)$ . Alors, puisque les variables  $I(1)$  dominent les variables  $I(0)$  dans une combinaison linéaire, généralement  $Y_t - \beta_1 X_t \sim I(1)$ . Cependant, si le terme d'erreur aléatoire  $\varepsilon_t \sim I(0)$ , alors  $Y_t - \beta_1 X_t \sim I(0)$ . Dans une combinaison où le coefficient  $\beta_1$  est unique, les variables  $Y_t$  et  $X_t$  sont dites *co-intégrées*. La somme cumulative des écarts de la relation co-intégrante  $Y_t - \beta_1 X_t = 0$  est alors nécessairement une variable  $I(1)$ . Si cette nouvelle variable  $W_t$  est co-intégrée avec les variables co-intégrées d'origine ( $Y_t$  ou  $X_t$ ), alors on dit que  $Y_t$  et  $X_t$  sont *multi-co-intégrés*.

Les insuffisances du CLRM découlent du fait que la valeur attendue du terme d'erreur prévu, à t, lorsqu'elle est mise au carré, est supposée être la même en tout point, en tout temps et quelle que soit l'observation (données transversales).

Il y a souvent une présomption d'*homoscédasticité* quant aux données transversales. Quand cette supposition n'est pas respectée, on parle alors d'*hétéroscédasticité*.

Le CLRM ignore le comportement hétéroscédastique du terme d'erreur  $\varepsilon_t$  et il produit des prévisions qui peuvent donner un faux sentiment de précision parce que la volatilité de la prévision est liée à la volatilité du terme d'erreur  $\varepsilon_t$ . Pour modéliser cette variance non-constante (hétéroscédasticité), on utilisait la technique du Déplacement Moyen AutoRégressif (AR-MA).

AR est une technique qui permet de ramener une variable à ses propres valeurs précédentes :  $Y_t$  à  $Y_{t-1}, Y_{t-2}, \dots, Y_{t-p}$

MA exprime les observations présentes d'une variable en fonction des valeurs actuelles et précédentes du terme d'erreur aléatoire  $\varepsilon_t, \varepsilon_{t-1}, \dots, \varepsilon_{t-q}$ ,  $q$  étant l'ordre du processus moyen de déplacement MA ( $q$ ). En combinant AR ( $p$ ) et MA ( $q$ ), on obtient ARMA ( $p, q$ ),  $p$  et  $q$  représentant l'ordre précédent de AR et MA.

On utilisait cette technique ARMA pour modéliser la volatilité variant dans le temps, ce qui a conduit au modèle d'Hétéroscédasticité Conditionnelle Auto-Régressive appelé ARCH. ARCH nous permet de prévoir la volatilité du terme d'erreur aléatoire ; il nous offre ainsi une mesure de Valeur à Risque. La variance du terme d'erreur aléatoire ( $\varepsilon_t$ ) dans l'équation 5 peut être développée en fonction des valeurs actuelles et précédentes ( $\varepsilon_t, \varepsilon_{t-1}, \varepsilon_{t-2}, \dots, \varepsilon_{t-q}$ ) comme suit :

$$\sigma_t^2 = \theta_0 + \theta_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \theta_2 \varepsilon_{t-2}^2 + \dots + \theta_q \varepsilon_{t-q}^2$$

dans laquelle  $\sigma_t^2$  est la variante de  $\varepsilon_t$  [ $\text{var}(\varepsilon_t)$ ].

Cette représentation MA ( $q$ ) de  $\sigma^2$  fut plus tard étendue à une représentation ARMA de  $\sigma_t^2$  bande 1, que l'on appelle modèle « Hétéroscédasticité Conditionnelle Auto-Régressive Généralisée » ou GARCH. GARCH évolua par régression d'une variable ( $\sigma^2$ ) sur ses propres valeurs précédentes (passées)  $\sigma_{t-1}^2, \sigma_{t-2}^2, \dots, \sigma_{t-p}^2$ .

$$Y_t = \beta_0 + \sum_{j=1}^{N_y} \varphi_j Y_{t-j} + \sum_{k=1}^k \sum_{i=1}^{N_{XKT}} \alpha_{ki} X_{kt-i} + \varepsilon_t$$

$$\sigma_t^2 = \theta_0 + \theta_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \theta_2 \varepsilon_{t-2}^2 + \dots + \theta_q \varepsilon_{t-q}^2$$

La variance du terme d'erreur aléatoire dépend non seulement des valeurs précédentes de  $\varepsilon$  ( $t-1, t-2, \dots, t-q$ ) mais aussi des valeurs précédentes de la variance  $\sigma^2(t-1, t-2, \dots, t-p)$ .

$$Y_t = \beta_0 + \sum_{j=1}^{N_y} \varphi_j Y_{t-j} + \sum_{k=1}^k \sum_{i=1}^{N_{XKT}} \alpha_{ki} X_{kt-i} + \varepsilon_t$$

$$\sigma_t^2 = \theta_0 + \sum_{i=1}^q \theta_i \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^p \tau_j \sigma_{t-j}^2 \quad (6)$$

**GARCH et Prévision.**

La technique odd-var-garch saisit aussi la dynamique entre entités dans le réseau de valeur. La dynamique transversale réelle captée par les modèles VAR relie chaque variable aux valeurs passées de toutes les autres variables dans le modèle.

Pour modéliser une dynamique multi-variante de  $n = 2$  en utilisant VAR( $p$ ), supposons que  $p = 1$  (décalé de 1 période). L'équation 6 peut être étendue au type odd-var-garch pour modéliser deux entités et considérer seulement une période de décalage ( $n=2, p=1$ ) comme figuré dans l'équation 7.

$$Y_{1t} = \beta_0 + \sum_{K=1}^K \sum_{i=1}^{N_{XKT}} \alpha_{ki} X_{kt-i} + \varphi_{11} Y_{1t-1} + \varphi_{12} Y_{2t-1} + \varepsilon_{1t}$$

$$Y_{2t} = \beta_0 + \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^{N_{Kt}} \alpha_{ki} X_{kt-i} + \varphi_{21} Y_{1t-1} + \varphi_{22} Y_{2t-1} + \varepsilon_{2t}$$

$$\sigma_{1t}^2 = \theta_0 + \sum_{i=1}^q \theta_i \varepsilon_{1t-i}^2 + \sum_{j=1}^p \tau_j \varepsilon_{1t-j}^2$$

$$\sigma_{2t}^2 = \theta_0 + \sum_{i=1}^q \theta_i \varepsilon_{2t-i}^2 + \sum_{j=1}^p \tau_j \varepsilon_{2t-j}^2$$

Dans le modèle var-garch, les interactions entre domaines de décision sont prises en compte en évaluant le coefficient  $\varphi_{ij}$  qui se rapporte aux changements en  $Y_i$  compte-tenu de  $Y_j$ .

L'impact du changement dans le terme d'erreur sur la variable fiable est appelé Fonction de Réponse d'Impulsion.

Appliqué à un grand volume de données précises fournies par l'AIT grâce au grid computing (sémantique), Odd-var-garch pourrait très bien devenir un outil pour des organisations recherchant une grande précision dans les prévisions de demande et dans les prédictions de chiffres en combinant les modèles basés sur équation (EBM) et les modèles basés sur agents (ABM).

## Le GRID

Le modèle de simulation peut être optimisé par l'analyse basée sur données, qui en améliore ainsi la précision. De plus, les modèles basés sur équation (EBM) peuvent imposer d'évaluer des milliers de paramètres comme des objets uniques. En conséquence, l'avenir des analyses de données d'affaires peut avoir des besoins informatiques radicalement différents.

L'analytique de la supply chain exige des applications créatives, un partage des ressources à grande échelle et une informatisation à haut-débit qui puisse fonctionner dans un environnement dual EBM et ABM. Le Grid computing<sup>7</sup> annonce un monde dans lequel les ressources partagées seront intégrées dans des « organisations virtuelles » (vo) réalisées via des portails Web (sémantiques) et des applications très largement distribuées.

Le Grid computing a fait un pas de plus vers le monde commercial lorsque le Projet Globus a sorti de nouveaux outils logiciels qui fusionnent grid et Web services, lesquels reviennent alors sous l'appellation : **Web Services Grid sémantique**.

Le grid en tant qu'instrument de **partage de ressources** est confronté à des défis d'accès exceptionnels. En général, les échanges B2B sont inhibés par des préoccupations de sécurité. Pourtant, il existe bien des protocoles, des services, des inter-faces de programmation (API – Application-Programming Interfaces) et des kits de développement de logiciels (SDK - Software Development Kits) qui garantissent la **sécurité** du **partage de ressources**. On étudie même l'emploi d'Agents comme gardes de sécurité.

Les Organisations Virtuelles peuvent varier dans leur but, leur étendue, leur taille, leur durée, leur structure et leur sociologie. Pourtant, elles ont toutes le même besoin de :

- [1] Relations de partage souples,
- [2] partage de ressources variées, et
- [3] Modes d'utilisation variés.

Les technologies de calcul<sup>8</sup> distribué ne peuvent actuellement accepter que des accès hautement centralisés et donc limités – trop rigides pour les VO dynamiques. C'est donc là que les technologies grid peuvent apporter de la valeur ajoutée, dont des :

- [1] Solutions de Sécurité,
- [2] Protocoles de gestion des ressources,
- [3] Protocoles et services de recherche d'information, et
- [4] Services de gestion des données.

La concentration des technologies grid sur le partage transversal plutôt que sur la connectivité intra-organisationnelle **complète** plutôt qu'elle ne concurrence les technologies de calcul distribué existantes.

L'architecture grid doit indiquer comment les composants fondamentaux du système interagissent les uns avec les autres. L'interopérabilité dans un environnement en réseau découle de protocoles communs. De là, l'architecture grid est d'abord et avant tout une architecture de protocole. Et il était nécessaire que l'architecture constituant les services **Grid middleware** acceptât un ensemble commun d'applications dans un environnement de réseau distribué.

Les mécanismes doivent faciliter les relations de partage qui peuvent être mises en place entre des **parties arbitraires**, à travers différents environnements de programmation. Parce que les VO sont le complément des institutions existantes, les mécanismes de partage grid ne peuvent pas imposer de changements substantiels aux règlements locaux et doivent permettre aux institutions

7 - Technologie de mutualisation des ressources en réseau. N.d.T

8 - ou Computing distribué.

individuelles de garder le contrôle ultime sur leurs propres ressources.

La Figure 11 illustre les différentes couches de l'architecture grid établie sur un modèle « de sablier » dont « l'étranglement » définit un petit ensemble d'abstractions et de protocoles centraux sur lesquels de nombreux comportements différents de haut niveau (en haut) et de nombreuses technologies sous-jacentes (en bas) peuvent être mis en correspondance.

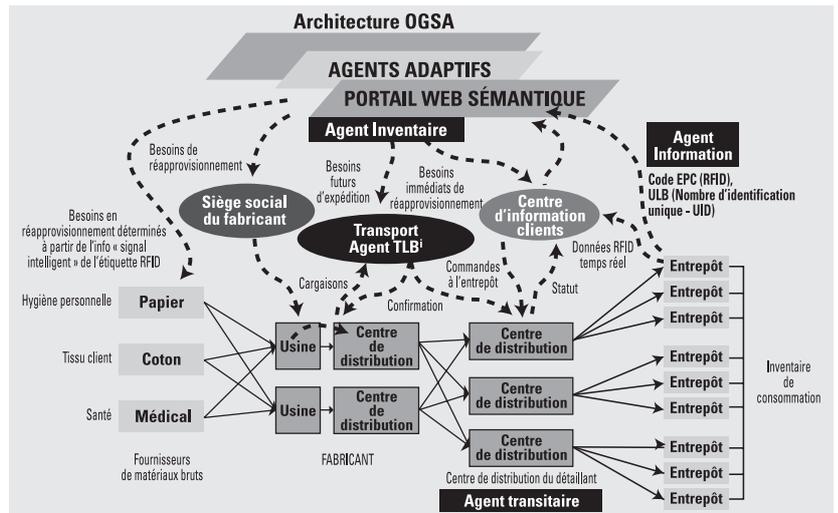
- Le « grid Fabric » est l'interface pour le contrôle « local ».
- La couche « Interface Fabric » fournit les ressources pour lesquelles l'accès partagé est géré par les protocoles grid.
- La couche « Connectivité » définit les protocoles centraux de communication et d'authentification requis pour les transactions de réseau spécifique grid.
- La couche « Ressource » s'ajoute à la couche Connectivité pour définir les protocoles régissant la gestion de la sécurité, le contrôle, la comptabilité et le *paiement des opérations de partage* faites sur les ressources individuelles.
- La couche « Collection » est donc globale par nature et peut mettre en œuvre une grande variété de comportements de partage sans imposer de nouvelles exigences sur les ressources.
- La couche finale du grid englobe les Applications « utilisateur » qui fonctionnent au sein d'une VO. Ces applications sont élaborées par échange de messages de protocoles avec le service ad hoc de manière à réaliser les actions souhaitées.

Prise dans sa globalité, cette architecture ouverte offre une multitude de combinaisons souples. Mais le grid computing concerne le partage contrôlé. Et actuellement, il y a un débat pour savoir si oui ou non le logiciel grid devrait définir les services du système de fonctionnement (OS – operating system) à installer sur *chaque* système participant.

Une grande partie de ce qui doit être réalisé par l'architecture grid ouverte est appelée « *grid middleware* ». On attend un grid computing haute performance pour qu'il soit possible d'effectuer des simulations à partir de plusieurs organisations différentes, ce qui permettrait d'entreprendre une simulation de l'ensemble du système.

La technologie et l'architecture constituent les « *Grid Middleware services* » nécessaires au soutien d'un ensemble complet d'applications dans un environnement de réseau distri-

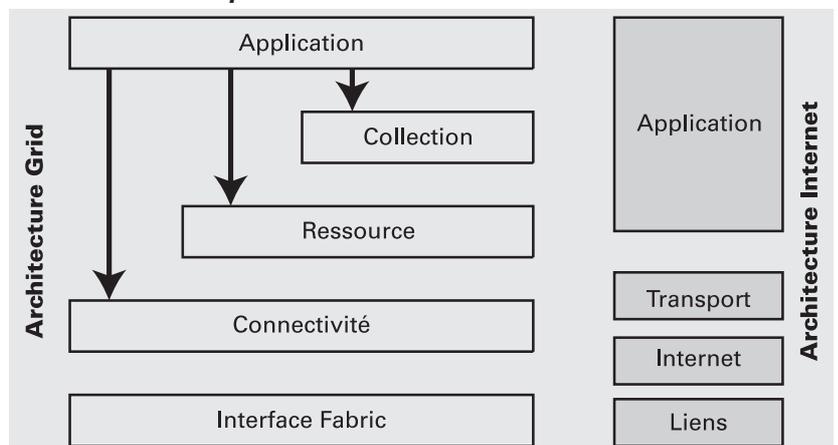
Figure 10 : Réseau de valeur auto-adaptif ?



bué tel qu'une « supply chain » ou un réseau de valeur.

Pourquoi l'interopérabilité est-elle une préoccupation fondamentale ? Imaginez les conséquences pour votre supply chain si vous deviez abandonner un fournisseur aux normes RosettaNet et vous approvisionner chez un fabricant de Shinzen (en Chine) qui n'a jamais entendu parler de RosettaNet ni de sa norme PIP's ! Le Grid doit faciliter les relations de partage qui peuvent être mises en place entre des *parties arbitraires* de manière à intégrer de nouveaux participants de façon dynamique et rapide, au-delà des différences de plate-formes, de langages, de localisations géographiques et d'environnements de programmation. Les mécanismes ne servent pas à grand chose s'ils ne sont pas définis et développés pour être interopérables quelles que soient les frontières organisationnelles, les politiques opérationnelles et les types de ressources.

Figure 11 : L'architecture Grid en relation avec l'architecture Internet. Parce que l'architecture Internet va du réseau à l'application, il y a une mise en correspondance du Grid avec les couches Internet.



En conséquence, les protocoles sont également cruciaux pour l'interopérabilité. Le Web a révolutionné le partage de l'information en fournissant une syntaxe (http, html) et un protocole universels pour les échanges d'information. De son côté, le Grid exige des protocoles et syntaxes standards pour le partage de ressources générales. Les protocoles Grid, par définition, préciseront à la fois la façon dont les éléments du système distribué interagissent les uns avec les autres (pour parvenir à un fonctionnement déterminé), et la structure de l'information échangée pendant cette interaction. Dans les versions futures, les ontologies pourraient jouer un rôle de plus en plus important dans la « compréhension » de l'information échangée via l'utilisation du langage sémantique (Web Ontology Language - WOL). L'accent mis sur les interactions externes plutôt qu'internes (software, caractéristiques des ressources) a des avantages pratiques importants pour le SCM, système dans lequel la fédération un peu distendue des partenaires tend à être floue.

De là, les mécanismes utilisés pour découvrir les ressources, établir l'identité, déterminer l'autorisation et lancer le partage doivent être suffisamment souples pour être établis et changés rapidement. Du fait que les organisations virtuelles (VO), type réseau de valeur, complètent plutôt qu'elles ne remplacent les institutions existantes, le partage de mécanismes ne peut pas imposer de changements substantiels aux politiques locales et il doit permettre à chaque établissement de garder le contrôle ultime sur ses propres ressources. Et comme les protocoles régissent l'interaction entre composants (mais pas leur mise en œuvre), le contrôle local est bien préservé. Le partenaire commercial de Shinzen, en conséquence, peut ne pas avoir à transformer son système b2b ou s'abonner à RosettaNet pour s'engager avec vous dans une relation d'affaires en tant que nouveau membre de la chaîne de valeur.

Pour que les outils de découverte soient utiles, les Web services exigeront une grille ontologique et l'intégration avec le grid, de manière à évoluer en services du grid Sémantique. Enfin, pour parvenir à une fonctionnalité complexe, il pourrait être nécessaire d'avoir une convergence des ABM à l'intérieur des services du grid sémantique.

## Agents

Nous allons étudier ce que sont les Agents et quelle est leur importance dans les systèmes

décisionnels. Le concept d'Agents a germé au sein du MIT et s'est développé à partir de l'étude du fonctionnement de l'esprit humain et de l'intelligence [38]. Les origines des Agents sont donc inspirées de la biologie et inscrites dans le mouvement de l'Intelligence Artificielle (AI), mouvement qui s'imposa autour des années 1950. Quelques uns des tout premiers concepts d'Agents servirent à créer des « difference engines », l'unité logique peut-être la plus ancienne du réseau neuronal d'aujourd'hui (software). L'aspect « intelligence » des Agents est un paradoxe conceptuel. Par lui-même un Agent n'est pas intelligent ; en revanche, les « Agences » le sont. On insuffle aux Agents, qui fonctionnent collectivement comme un « essaim », une dynamique supérieure et des capacités adaptives basées sur l'apprentissage, ce dont les algorithmes statiques basés sur équation manquent.

Leur autonomie permet aux Agents d'exécuter des opérations en réponse à des changements sans qu'il y ait besoin d'une intervention humaine permanente. De plus, les Agents qui partagent un même environnement avec d'autres Agents (Agences) dans un Système Multi-Agents<sup>9</sup> sont capables de mobilité entre les différents environnements.

Un logiciel ebm est incapable de s'adapter aux événements non-linéaires en intégrant de multiples sources d'information. Les Agences « Intelligentes » pourraient donc devenir un outil essentiel pour servir d'interface avec des sources multiples de données de manière à en extraire une information en temps réel.

Les Agents utiles doivent être alignés sur ces concepts :

- correspondre à des « choses » dans le domaine en question plutôt qu'à des fonctions abstraites,
- être petit en masse, en temps (capable d'oublier) et en étendue,
- respecter une grande diversité,
- inclure un mécanisme dispersif,
- avoir des moyens de saisir et de partager ce qu'ils apprennent sur leur environnement,
- planifier et exécuter de manière concurrente plutôt que séquentielle, et
- les Systèmes Multi-Agents (MAS) devraient être décentralisés.

## Agents vs Equations

L'unité élémentaire des modèles basés sur équation (EBM) relie des données observa-

9 - MAS = Multi-Agent System.

bles dont les valeurs sont affectées par les actions d'individus multiples, alors que le fonctionnement d'un Agent n'influe pas directement sur la représentation de ces comportements individuels ; ce qui maintient donc des frontières entre individus. Cette différence donne aux modèles basés sur Agent (ABM) un avantage en terme de sécurité des applications commerciales :

- Dans un ABM, chaque entreprise a son propre groupe d'Agents. Il n'est pas nécessaire que les comportements internes de l'Agent soient visibles au reste du système. De cette façon, les firmes peuvent conserver l'information relative à leur fonctionnement interne.
- Une supply chain multi-sections complexe peut être découplée au niveau de l'Agent, permettant une modification des Agents individuels pour refléter une optimisation locale. Puisque ces agents font partie d'une Agence supérieure, la chaîne logistique complexe reflètera alors une optimisation globale – la migration d'un modèle de simulation vers un modèle de contrôle adaptatif est simple et directe.

Les Agents sont aussi pourvus d'un mécanisme *d'oubli*. Les outils de prévision types basés sur ebm utilisent comme alternative une moyenne pondérée des données historiques.

Les ebm ignorent aussi le fait que la planification et l'exécution ne sont pas concurrentes. Les Agents, qui cherchent à éviter le mode de fonctionnement « *planification puis exécution* », évaluent de manière probabiliste l'impact du travail sur son utilisation en fonction du temps, d'après l'information en provenance du client sur des durées acceptables.

On demande aussi que les systèmes puissent calculer plusieurs paramètres et les pondérer. En conséquence, les Agents présents dans l'architecture du système doivent être en lien logique avec les différents systèmes distribués.

Le Système Multi-Agents (MAS) nous offre la possibilité de répondre avec la finesse qui requiert de nombreuses connexions à la mémoire en succession rapide.

## Agents en maintenance

Même quand une opération n'a que peu de variables critiques de mission, l'emploi d'Agents est crucial. Par exemple, telles opérations de maintenance sur un aéronef donné révèlent que l'incapacité à réparer les appa-

reils ou les moteurs était due à un manque de pièces de rechange. La modélisation basée sur Agent des processus de maintenance permettrait d'intégrer la demande en provenance des multiples postes, en anticipant sur les défaillances de pièces par la gestion des métriques comme le MTBF ( Mean Time Between Failure - Temps moyen écoulé entre deux pannes).

## Agents dans la Fabrication

L'industrie aéronautique commerciale fabrique peu de produits et vend à un ensemble de clients différents de celui du commerce de détail. Quelques pièces (modulaires) et composants servent à plusieurs modèles différents (variantes). Ce secteur, comme celui de l'industrie automobile, tire un bénéfice significatif de la vente subséquente de pièces de rechange et de services. En conséquence, les compagnies ont accès à une masse importante de données d'utilisation.

Prenons un exemple : la panne un peu trop rapide de deux pompes hydrauliques aux deux bouts du monde incite un Agent à étudier cette récurrence. Elles venaient toutes deux du même lot de fabrication. L'Agent pousse alors les techniciens de la maintenance à réaliser une analyse de vibration particulière, qui met en évidence un défaut dans l'ensemble du lot. Si l'Agent avait disposé, dans ce réseau de valeur, des données d'analyses de vibration faites par le fabricant, il aurait décelé cette tendance avant même qu'une seule pompe ne tombe en panne. Une analyse comparative implique l'accès à un traitement de données massives en un temps raisonnable. Les Agents pourraient accomplir de telles tâches rapidement et prédire, donc prévenir, une catastrophe potentielle.

Or, les réseaux de valeur avec points d'accès intégrés aux données distribuées via le Grid peuvent rendre disponible l'information nécessaire pour qu'un Agent puisse déceler une prédisposition à partir des données fabricant, lot, date d'installation et heures d'utilisation.

Dans un autre scénario, prenons un système Agent qui opère dans le domaine exclusif de l'analyse des retours. Cet Agent remarque que le taux de retour des produits d'un fabricant a dépassé un certain niveau ces dernières semaines. Pourquoi ? Ce produit a une valeur relativement élevée, il pèse plus de 08 kilos et la plupart ont été envoyés à 800 kilomètres ou plus. L'alerte lancée par l'Agent arrive au

manager qui inspecte par hasard un conditionnement. Bingo ! Ce packaging est différent de celui des produits qui ont un taux de retour moins élevé. Un coup de téléphone confirme que le fabricant a changé tout dernièrement de fournisseur d'emballage.

Figure 12 : La supply chain de l'industrie aéronautique commerciale : collecte de l'information.

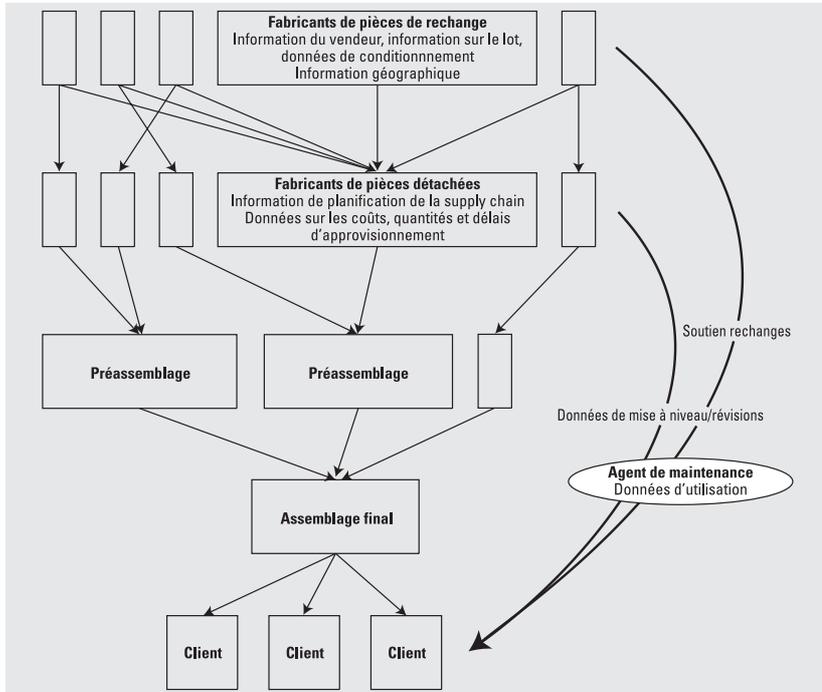
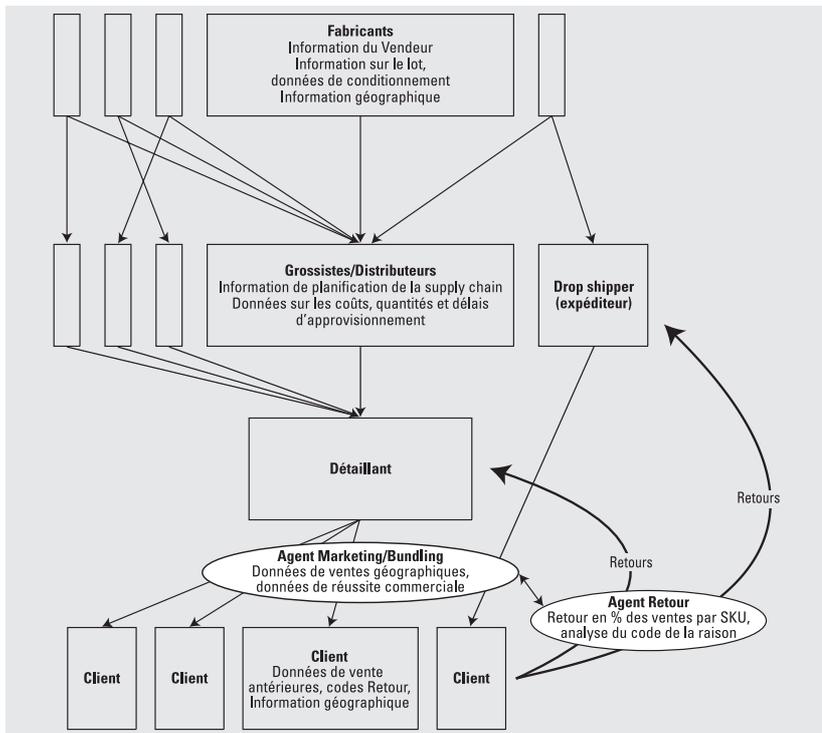


Figure 13 : Les Agents dans le commerce de détail



(ce schéma montre où l'on peut intégrer les Agents « retours » et « bundling »).

Les Agents peuvent aussi être utiles dans le domaine de la vente. Ainsi, Dell permet à ses clients de configurer eux-mêmes leurs ordinateurs. L'allotissement (ou bundling) est une technique de marketing ; on associe deux produits que l'on vend à un prix unique inférieur au montant normal de la vente séparée des deux produits. Ce système procure des recettes et bénéfices plus importants que si chaque élément était vendu séparément. Dell emmagasine des exaoctets d'information sur les habitudes d'achat des clients. Un Agent « analytique » est capable de repérer une tendance du type : 40% des clients qui achètent un supplément de mémoire prennent aussi un processeur grande vitesse. Un Agent « marketing » peut « parler » à l'Agent « prix » pour offrir des ristournes si la mémoire est achetée avec le processeur. Comme la tendance des choix pour les combinaisons (mémoire contre vitesse de processeur) évolue en fonction du profil démographique ou géographique, les données fournies par les Agents analytiques peuvent être utilisées par les agents « marketing » et « prix » pour offrir de nouvelles options de bundling (fixation dynamique du prix). Ce qui peut augmenter la demande pour la mémoire et accroître recettes et bénéfices. Il est possible aussi de cibler les clients potentiels pour commercialiser l'option de discount groupée.

En proposant trois options ou plus, sans parler des accessoires type appareils photos, MP3 ou imprimantes, le nombre de combinaisons possibles de produits augmente. Pour les Agents, analyser des montagnes de données, déceler les possibilités (multiples) de bundling et s'adapter aux fluctuations de la demande quasiment en temps réel est très simple. Ils le font beaucoup plus vite (des milliards de fois plus vite) que ne pourrait le faire un être humain ou un logiciel basé sur équations. La technique du bundling permet d'améliorer les ventes d'un stock de produits peu demandé ou en fin de vie (EOL- End-of-Life) avant d'introduire de nouvelles versions ou de nouveaux produits.

### Technologies d'identification automatique (AIT).

Les AIT offrent aux outils le pouvoir d'acquérir des données sur l'objet. Les Codes Produits Electroniques (EPC) introduisent la standardisation d'un format pour données minimales sur les étiquettes RFID (étiquettes ULB) qui servent de référencement à des objets physi-

ques, dont l'avalanche des données pourrait être stockée sur Internet.

### **RFID : les questions de protection de la confidentialité.**

Les avocats de la protection de la confidentialité sont anti-RFID parce qu'ils ne comprennent pas que le RFID, en tant que technologie, ne peut pas envahir la vie privée. Que les données consommateur soient liées ou non aux données inventaire est seulement une **décision de processus**.

### **ULB**

Plusieurs scénarii semblent indiquer que les bénéfices tirés de l'utilisation d'étiquettes ULB dépasseraient le coût d'utilisation d'étiquettes RFID passives à faible coût. Le métal ou le béton n'arrêtent pas l'ULB, et ce système est sûr. La capacité spatiale de l'ULB est 1000 fois supérieure à celle de l'UHF. Elle offre d'appréciables taux de débit qui fonctionnent malgré des interférences multi-voies. Dépourvue de restrictions de spectre pays, l'ULB peut devenir une norme mondiale pour des communications courte portée.

### **Les réseaux de capteurs**

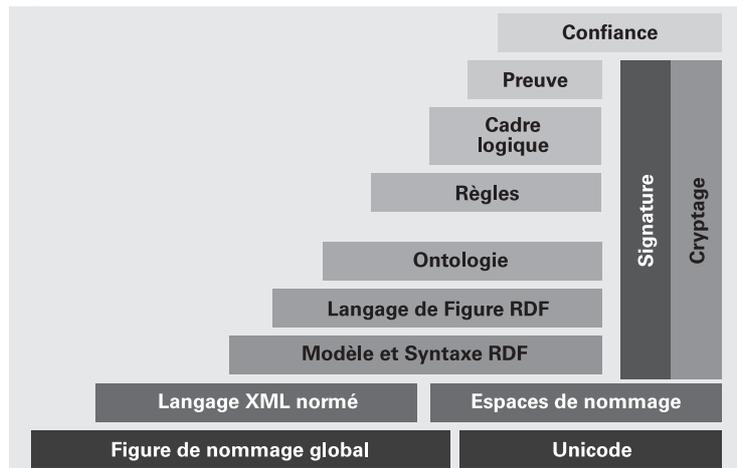
Les réseaux de capteurs sans fil sont un bon exemple de grille informatique diffuse. Ils sont autonomes et forment des réseaux sans fil qui se chargent de données à travers des nœuds spécifiques qui peuvent être connectés aux stocks de données. Du fait de certains pouvoirs analytiques, le réseau de capteurs transmet des analyses de données plutôt que des données brutes de manière à fournir des réponses.

## **Le web sémantique**

Le Web sémantique est un recueil de données en langage rdf (Cadre de Description de Ressources) qui décrit la signification des données à travers les liens aux ontologies<sup>10</sup>, qui agissent comme des glossaires décentralisés. Le Web sémantique peut offrir la transparence du processus au-delà des frontières du langage et de la géographie, même si les partenaires individuels accomplissent certaines fonctions d'une manière différente des autres.

Les agents seront capables de collecter le contenu du Web à partir de différentes sources, de traiter l'information et d'échanger les résultats avec d'autres programmes ou données, rendant ainsi plus facile le développement de programmes qui peuvent s'attaquer à des questions compliquées dont les réponses

**Figure 14 : Les couches du Web sémantique**



ne se trouvent pas sur une seule et unique page du Web.

Les ontologies peuvent aussi être utilisées d'une manière toute simple pour améliorer la précision des recherches sur le Web, par exemple par l'utilisation des règles de déduction.

Une importante facette du fonctionnement (de l'Agent) sera l'échange de « preuves » écrites en langage unificateur du Web sémantique. Quelques programmes peuvent déjà échanger des preuves de cette manière, en utilisant des versions préliminaires. La Figure 14 montre les couches du Web sémantique de Tim Berners-Lee.

### **Le web sémantique adaptif dans le domaine de la santé ?**

Le partage de la connaissance dans le Web Sémantique via la conception d'Agents peut trouver un emploi dans le domaine de la santé :

L'utilisation de micro-antennes permet d'examiner l'expression des gènes, mais elle produit en même temps une masse ahurissante de données. Pour identifier un état de maladie, on doit identifier la position d'un gène sur la carte du génome humain. Une **combinaison** de l'information qui nous dit quels sont les gènes actifs et où l'on peut trouver ce gène actif sur le chromosome est un gain extraordinaire pour la bonne intelligence du meilleur mode d'administration du traitement.

Pour réaliser les connections logiques à partir de ce vaste amas de données, nous avons besoin d'Agents dans le Web Sémantique.

<sup>10</sup> - Ontologie = Spécification formelle de la représentation des concepts, objets et entités et de leurs relations. N.d.T.

## Conclusion

Les entreprises utilisent des modèles pour optimiser les profits ou même prévoir l'action future. Mais ces modèles ont beau être omniprésents, un modèle tiré d'un domaine particulier n'interagit pas avec un autre. Pouvons-nous exploiter la puissance de modèles à données multiples ? Nous pourrions faire des prédictions basées non plus sur quelques paramètres comme dans un modèle basé sur équation (EBM), mais bien sur des milliards de faits et de fonctions différents que les modèles basés sur Agent (ABM) permettraient de contenir.

Les décideurs peuvent souhaiter profiter des éléments clés (outils et technologies) mentionnés dans ce document et rechercher des moyens de réaliser la convergence. Les progrès dans cette direction peuvent être mesurés par le degré de fusionnement significatif entre bits et atomes en fonction du processus.

## Bibliographie

- [1] Gell-Mann, M., « *The Quark and The Jaguar* », éditions W.H. Freeman and Company, New York 1994.
- [2] Heinrich, C. et Bettes, B. « *Adapt or Die : Transforming your Supply Chain Into an Adaptive Business Network* », éditions John Wiley and Sons, 2003.
- [3] Tellis, G.J. and Golder, P.N., « First to Market First to Fail? Real Causes of Enduring Market Leadership », *Sloan Management Review*, n°37 (2), 1996, pages 65-75.
- [4] [www.wrmea.com/archives/sept-oct02/0209044-2.html](http://www.wrmea.com/archives/sept-oct02/0209044-2.html), et [www.bea.doc.gov](http://www.bea.doc.gov)
- [5] Shimchi-Levi, D., Kaminsky, P. et Shimchi-Levi, E., « *Designing and managing the Supply Chain* », 2<sup>nd</sup> ed, 2002
- [6] Forrester, J., « *Industrial Dynamics* », MIT Press, 1961
- [7] Sterman, J.D., « Modeling managerial Behavior : Misperceptions of feedback in a dynamic decision making experiment », *Management Science* (1989) ;
- [8] Lee, H., Padmanabhan, P. et Whang, S., « The Bullwhip Effect in Supply Chains »,

*Sloan Management Review* n°38, 1997, pages 93-102

- [9] Brame, J. et Simchi-Levi, D., « *The Logic of Logistics* », Springer 1997.
- [10] Joshi, Y.V., « Information visibility and its effect on supply chain dynamics », MS Thesis, MIT, 2000.
- [11] Cohen, M., Ho, T., Ren, J. et Terwiesch, C., « Measuring imputed cost in the semiconductor equipment supply chain. » Working papers ; Wharton School, 2003.
- [12] Neumann, J.V. et Morgenstern, O., « *Theory of Games and economic Behavior* » ; Princeton University Press, 1947.
- [13] Nash, J.F., « *Equilibrium points in N-Person Games* » ; PNAS, 1950
- [14] : H.W. Kuhn : « *Extensive games and the problem of information* » dans « *Contributions to the Theory of Games* » (sous la direction de Kuhn et A.W. Tucker) aux éditions Princeton University Press 1953.
- [15] Aumann, R., « *Acceptable points in general cooperative n-person games* ». Contributions to the Theory of Games (IV), Princeton University Press, 1959.
- [16] Shubik, M., « Some Experimental Non Zero Sum Games with Lack of Information about the Rules ». *Management Science* n°8 (1962), pages 215-234.
- [17] Shubik, M., « Incentives, Decentralized Control, the Assignment of joint Costs and Internal Pricing » ; *Management Science* n°8 (1962) pages 325-343
- [18] Vickrey, W., « Counterspeculation and Competitive Sealed Tenders » ; *Journal of Finance* n°16 (1961) pages 8-37.
- [19] <http://william-king.www.drexel.edu/top/eco/game/game.html>
- [20] Ozer Ozalp, Stanford University, Communication personnelle.
- [21] Enders, W., « *Applied Econometric Time Series*. » Wiley, 2<sup>e</sup> édition, 2003.
- [22] Christensen, C., « *The Innovators Dilemma* », 2000 ; pages 168-169.
- [23] Datta, S. et al [www.wkap.nl/prod/b/1-4020-7812-9?a=1](http://www.wkap.nl/prod/b/1-4020-7812-9?a=1)

## Collaborateurs

Benson Adams,  
Commandement du Matériel  
de l'Armée de Terre

Mohua Barari,  
Professeur d'Economie,  
Université du Missouri  
du Sud-Ouest

Bob Bettes,  
Président Fondateur,  
Applications Mainstreet

Mark Dinning,  
Groupe de Stratégie  
de la Chaîne Logistique,  
Dell Corporation

Tom Gibbs,  
Directeur, Intel Corporation

Hui Li, étudiant de 3<sup>e</sup> cycle,  
Département du Génie  
Aéronautique  
et d'Astrophysique, MIT

Mike Li, Chercheur,  
Département du Génie Civil  
et Environnemental, MIT

Yichen Lin,  
professeur de Management  
et de Technologie de  
l'Information, Université de  
Technologie de Taiwan Sud,  
Taiwan

Greg Parlier,  
Bureau du développement  
Economique,  
Université d'Alabama

Micah Samuels,  
Directeur général  
des Opérations, Amazon.com

Santtu Toivonen,  
étudiant de 3<sup>e</sup> cycle,  
Technologie de l'Information  
VTI, Finlande