

INTÉGRATION D'OUTILS APS DANS UNE SIMULATION MULTI-AGENT: UNE APPLICATION À L'INDUSTRIE DU BOIS D'OEUVRE

S. LEMIEUX, S. D'AMOURS, J. GAUDREULT

Université Laval
Département de génie mécanique
Québec, (Québec) Canada, G1K 7P4
{sebastien.lemieux, sophie.damours,
jonathan.gaudreault}@forac.ulaval.ca

J.-M. FRAYRET

École Polytechnique de Montréal
2500, chemin de Polytechnique
Montréal, (Québec) Canada, H3T 1J4
jean-marc.frayret@polymtl.ca

RÉSUMÉ : *Ces travaux proposent l'intégration d'un système avancé de planification pour l'industrie du sciage de bois résineux dans une simulation multi-agent. L'objectif visé est de permettre la simulation de différentes conditions du marché afin d'évaluer et de comparer l'impact économique de stratégies de pilotage ou de gestion de la demande dans un réseau de création de valeur. Dans cet article, un simulateur à base d'agents est présenté de même qu'un agent simulant le comportement des clients. Un cas d'étude (Virtual Lumber Case) est présenté afin d'illustrer le potentiel d'utilisation du simulateur. Ce cas représente une entreprise canadienne de production de bois d'œuvre, de taille moyenne. Le développement du cas VLC constitue un maillon clé dans le développement de cette recherche; il facilite la création de scénarios de simulation et l'étude de différentes stratégies propres à l'industrie des produits forestiers.*

MOTS-CLÉS : *Simulation, Réseau de création de valeur, Advanced Planning System, Multi-agents, Opérations, Bois d'œuvre*

1. INTRODUCTION

Les entreprises canadiennes de l'industrie des produits forestiers font face à une compétition soutenue de la part des marchés émergents. Face à ces défis, elles doivent se démarquer en visant des niches où elles excelleront du point de vue du niveau de service tout en dégagant un bénéfice accru. La réorganisation du réseau de création de valeur, de même qu'une meilleure planification/synchronisation des opérations à l'intérieur de ce réseau constituent des moyens possibles.

Pour ces raisons, il existe un besoin réel pour des outils permettant de mesurer l'impact économique de ces changements. Les systèmes avancés de planification (Advanced Planning Systems (APS)) font partis de ces outils. Ils permettent d'aider les entreprises en utilisant des algorithmes et des modèles pour faire la planification (Stadtler, 2005). Par contre, le problème de planification dans l'industrie forestière est très différent de ceux des secteurs manufacturiers traditionnels (Rönnqvist, 2003).

Lors de travaux antérieurs, nous avons présenté un système APS distribué (d-APS) permettant de planifier/synchroniser les opérations d'un réseau de production de bois d'œuvre (plateforme expérimentale For@c). Il permet l'utilisation d'algorithmes de planification spécifiques à chaque type d'usine du réseau, et l'utilisation de mécanismes de coordination.

Dans le cadre des présents travaux, nous avons développé un simulateur permettant d'évaluer la

performance d'un réseau de création de valeur pour différents scénarios de marché. Ces travaux sont les premiers pas vers un simulateur malléable constitué d'un outil APS et d'agents client. Nous présentons d'abord (section 2), un cas virtuel de réseau de production de bois d'œuvre que nous appelons Virtual Lumber Case (VLC). Ce cas est inspiré de données réelles provenant de l'industrie canadienne. Nous avons modélisé ce cas sur la plateforme expérimentale For@c

Nous avons ensuite développé un simulateur (section 3) constitué de trois modules principaux: un système APS mimant le comportement du réseau de production, un agent client simulant le comportement du marché, et finalement, le simulateur en tant que tel, utilisé par le décideur pour comparer différents scénarios (voir *Figure 1*).

À la section suivante, nous utilisons ce système pour évaluer la stratégie de vente et plus spécifiquement, la proportion des volumes disponibles qui devraient être dirigés vers des clients prêts à consentir des contrats.

Par contre, il est nécessaire de tenir compte de certaines considérations si ces simulations servent pour prendre des décisions. Il faut être en mesure d'évaluer la validité des simulations (Balci, 1986) (Sargent, 1992) et cette validation doit se faire tout le long du développement de la simulation. (Robinson, 2002). Compte-tenu de la taille des problèmes à traiter, ces étapes deviennent particulièrement importantes.

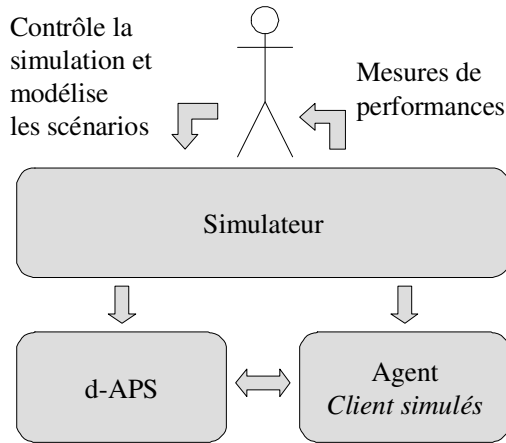


Figure 1. Composition du simulateur

2. VIRTUAL LUMBER CASE

Virtual Lumber Case représente un réseau de création de valeur d'une entreprise canadienne typique de production de bois d'œuvre. Les données sont inspirées de celles d'entreprises réelles de l'est du Canada. Étant donné l'ampleur de cette expérimentation, il est impossible de donner tous les détails dans cet article. Par contre, l'ensemble des données du cas est disponible sur demande à info@forac.ulaval.ca.

La modélisation de ce réseau a été réalisée avec un outil APS développé par le Consortium de recherche For@c appelé plateforme expérimentale For@c (D'Amours *et al.*, 2006) (Frayret J.-M. *et al.*, 2007). Il s'agit d'un APS distribué à base d'agent (d-APS) : chaque agent contient un modèle d'une unité de production du réseau et dispose d'algorithmes spécialisés pour planifier les opérations de cette unité.

2.1. Plateforme expérimentale For@c de planification

Les agents de la plateforme expérimentale communiquent entre eux à l'aide de protocoles inspirés du standard FIPA-ACL (www.fipa.org). Ces protocoles de communication déterminent l'évolution d'une conversation entre deux agents (ex : *Figure 2*).

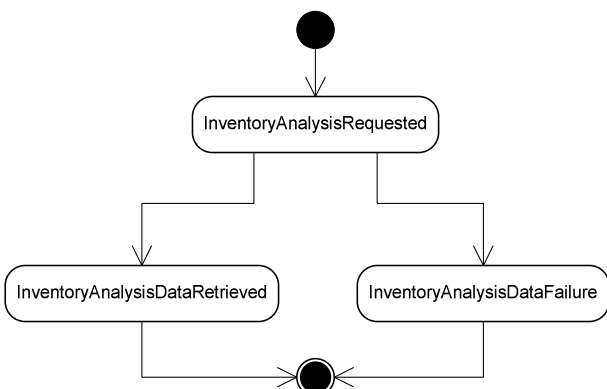


Figure 2. Protocole pour connaître le niveau d'inventaire d'un produit d'un agent

Chaque agent est spécialisé selon la fonction de l'unité de production qu'il représente. Chacun dispose d'un engin spécifique pour la planification de ses opérations. Les agents s'échangent des plans de demande et d'approvisionnement de manière à coordonner les opérations de chacun et ainsi obtenir un plan global pour le réseau de création de valeur.

2.2. Le réseau de production et de distribution

Le réseau étudié est illustré à la *Figure 3*. Le flux de matière partant de l'agent *Achats* et se terminant à l'agent *Ventes*.

L'objectif premier lors de l'élaboration de ce cas était de créer une usine de taille moyenne dans l'industrie forestière canadienne.

L'agent *Achat* planifie les approvisionnements en billes. Ces billes sont ensuite passées au sciage et débitées selon des patrons de débitage spécifique pour en faire des sciages (pièces de bois). L'agent sciage planifie les opérations de sciage. Les sciages sont ensuite séchés, dans le respect de patrons de chargement des séchoirs. L'agent séchage planifie les opérations de séchage. Les sciages terminent leurs processus de transformation à la finition. Cette étape consiste à débiter en longueur les sciages séchés et leur donner leurs caractéristiques finales. L'agent finition planifie les opérations de la finition. Les sciages sont promis et livrés à des clients. L'agent *Ventes* s'occupe de planifier les livraisons aux clients.

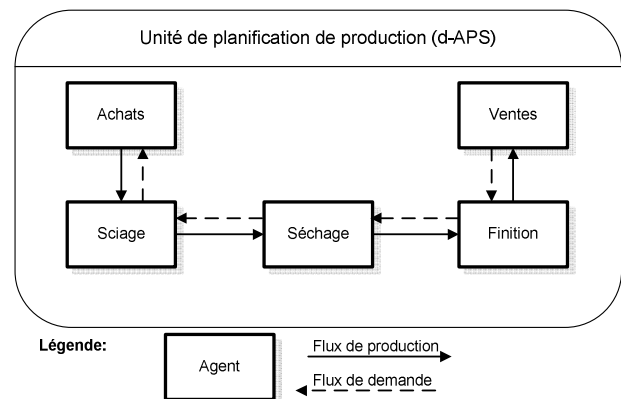


Figure 3. Agents de la plateforme expérimentale For@c

Les agents gèrent les informations concernant les produits, les processeurs et les processus de chacune des unités du réseau. Les agents *Sciage*, *Séchage* et *Finition* permettent de faire la planification des opérations à l'aide respectivement de programmation par contraintes, d'heuristique et de modèles mathématiques (voir *Tableau 1*).

	Agent Sciage	Agent Séchage	Agent Finition
Objectifs	<ul style="list-style-type: none"> •Min. des retards •Max. de la valeur de production •Min. des coûts 	<ul style="list-style-type: none"> •Min. des retards •Max. de la valeur de production 	<ul style="list-style-type: none"> •Min. des retards •Max. de la valeur de production •Max. de l'utilisation des processeurs
Caractérisation des processus	<ul style="list-style-type: none"> •Flux des produits divergeant •Co-production •Processus alternatifs •Seulement des processus compatibles peuvent être exécutés sur le quart de production 	<ul style="list-style-type: none"> •Flux des produits divergent •Co-production •Processus alternatifs 	<ul style="list-style-type: none"> •Flux des produits divergent •Co-production •Processus alternatifs •Seulement des processus compatibles peuvent être exécutés sur le quart de production
Paramètres de planification	<ul style="list-style-type: none"> •Calendrier de la capacité par machine •Opérations gelées •Ventes maximales par produits •Coût d'inventaire •Coût des produits bruts 	<ul style="list-style-type: none"> •Calendrier de la capacité par machine •Opérations gelées •Coût d'opération 	<ul style="list-style-type: none"> •Calendrier de la capacité par machine •Opérations gelées •Mode d'exploration dans l'arbre des solutions •Durée de production minimale par famille
Méthode d'optimisation	Programmation linéaire mixte en nombres entiers	Programmation par contraintes	Heuristique

Tableau 1. Définition des unités de sciage, de séchage et de finition

Le *Tableau 2* précise les caractéristiques du cas Virtual Lumber Case du point de vue de chacune des unités d'affaires : produits, processeurs, processus, etc. L'unité de sciage peut consommer huit types de billes différentes. Il contient deux lignes de sciage. Pour chaque type de billes entrant, une série de patrons débitages est possible. Le choix du patron et de la bille définira le panier de produit réalisé.

Pour l'unité de séchage, quinze différents produits peuvent être séchés dans un des sept séchoirs (processeurs) disponibles selon 180 processus de séchages différents. En termes de capacité, cette unité de production est le goulot du réseau.

L'unité de finition peut transformer quinze différents produits en 45 produits finis. Un processus de finition existe pour chacun des produits pouvant entrer sur la ligne de finition. Finalement, les ventes peuvent livrer aux clients 45 produits différents.

2.3 Modélisation des clients

Deux types de processus de demande sont modélisés dans ces travaux (« spot » et « contrat »).

La vente des produits du bois peut s'opérer via des marchés dits « spot », ce qui est commun à la vente de produits de commodité : le client se présente de façon sporadique à des intervalles aléatoires. Il négocie un prix, un volume et une date de livraison. Le client et le producteur sont alors opportunistes. Ils n'ont aucune autre obligation l'un envers l'autre, autre que celle de respecter cette vente.

Le mode « contrat » implique une relation et certaines attentes de part et d'autres. Le contrat peut spécifier plusieurs exigences telles des garanties d'achat ou de livraison, des conditions de fixation des prix et des paiements. On y associe des livraisons répétées sur un horizon de temps.

Il existe peu de données disponibles permettant de modéliser le comportement des clients de cette industrie. Généralement, les entreprises conservent les informations que sur les commandes qu'elles ont acceptées. De plus, si un produit de remplacement a été offert, la demande originale n'apparaît pas dans les bases de données. Il est ainsi très difficile de reproduire exactement les processus de demande.

Puisque les données sont presque inexistantes, il a été

	Sciage	Séchage	Finition	Ventes
Nb de produits de consommation	8	15	15	45
Nb de produits fabriqués	15	15	45	45 (spot) 15 (contrat)
Processeurs	1 Ligne 8'-16' 1 Ligne 8'	5 petits séchoirs 2 gros séchoirs Zones à l'air libre	1 Ligne	
Processus	37	180	15	

Tableau 2. Définition des unités de sciage, de séchage, de finition et de ventes.

nécessaire de poser certaines hypothèses. Ces hypothèses ont permis de modéliser statistiquement les processus de demande. Nous avons modélisé de façon indépendante les paramètres d'une commande: le délai entre l'appel du client et sa date de livraison, la date de livraison, l'intervalle entre deux commandes, etc. Nous avons lié la génération des paramètres de volumes de chacune des commandes ainsi que des volumes cumulés de demande par produit. L'établissement de ce dernier paramètre a été faite sur la base de l'historique des livraisons d'une entreprise de l'industrie.

Le volume total demandé a été fixé selon un pourcentage de la capacité de l'usine en production poussé. Pour ce faire, on a utilisé le simulateur pour optimiser le réseau sur la base d'une production complètement en flux poussé. Dans le contexte de la production de bois de sciage, cela signifie que les ressources sont utilisées pour produire les produits à plus forte valeur espérée. Cette première simulation a permis de définir des volumes réels et réalisables de production. Nous avons ensuite établi, pour le client *spot*, une demande totale équivalent à deux fois la capacité de l'usine.

2.3.1. Générateur de nombres aléatoire

L'agent *Clients Simulés* simule le comportement des clients. C'est à lui que revient la tâche de générer les caractéristiques des demandes des commandes qui seront utilisées par la suite dans la simulation. Il est paramétrisé à l'aide des variables aléatoires mentionnées précédemment.

La quantité importante de nombres aléatoires nécessaires implique qu'il faut un générateur rapide et malléable capable de servir les besoins des différents modèles. Le générateur de nombres uniformes utilisé est le *Mersenne Twister* (Mastsumoto et Nishimura, 1998). Ce générateur permet de produire des nombres aléatoires avec une période très grande sans ralentir l'exécution de l'algorithme.

Par contre, des nombres qui suivent une distribution uniforme ne sont pas d'un très grand secours lorsque le besoin est de paramétrer des demandes clients. Ainsi, il est nécessaire de les transformer en des nombres suivant différentes distributions, telles que triangulaire, normale et exponentielle (Ross, 1993).

La méthode utilisée ici est simple mais efficace. On discrétise la fonction de densité de la distribution désirée. Par exemple, pour générer un nombre selon une loi normale, il suffit de diviser la représentation graphique en un nombre d'intervalles qui conviennent au besoin. À chaque intervalle est associée une probabilité qui est calculé par son aire sous la courbe divisée par l'aire totale. Ainsi, en tirant un nombre uniforme dans l'intervalle $[0,1]$, il est possible de trouver la valeur correspondante utilisant les poids cumulatifs de chaque intervalle. Avec l'exemple de la *Figure 4*, si la valeur

tirée est 0.63, ce sera la valeur du troisième intervalle qui sera choisie. Bien entendu, il est possible d'utiliser des approximations pour les aires sous la courbe si le nombre d'intervalles tend à être élevé. À partir de ce point, un nombre aléatoire correspondra à un nombre aléatoire suivant la distribution désirée.

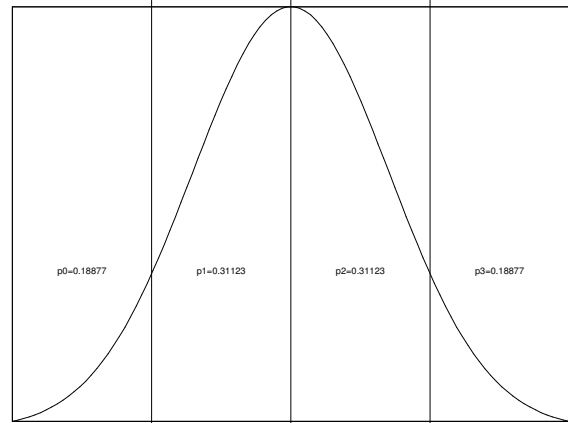


Figure 4. Exemple de discrétisation d'une courbe

2.3.2 Modèle pour client spot

L'idée générale est de représenter le comportement d'un client qui demande à son fournisseur s'il est capable de livrer une quantité d'un produit pour une date donnée. Si le fournisseur lui répond par l'affirmative, le client confirme cette commande. Sinon, l'hypothèse est faite que le client retire sa commande et appelle un autre de ses fournisseurs (celui-ci ne faisant pas partie de la simulation).

Comme spécifié précédemment, toutes les demandes sont générées au début de la simulation. Mais, pour qu'elles soient utilisables dans la simulation, il faut ajouter une caractéristique supplémentaire à chaque demande : le moment où le client transmettrait sa commande.

Donc, en résumé, pour chaque relation client-fournisseur-produit, l'agent génère une liste de demandes qui possèdent plusieurs caractéristiques :

- Date de livraison (moment où l'acheteur désire son produit)
- Quantité
- Date effective (moment où l'acheteur transmet sa commande)
- Status (initialement à *prévue*)

L'algorithme de génération est décrit à la *Figure 5*. La première étape consiste à tirer un nombre aléatoire qui correspond à la quantité totale qui sera demandée pour cette relation sur l'horizon de simulation. Tant que la quantité totale n'est pas écoulee, l'algorithme crée des demandes en tirant une quantité, une date de livraison selon la saisonnalité et soustrait un délai pour obtenir la date effective.

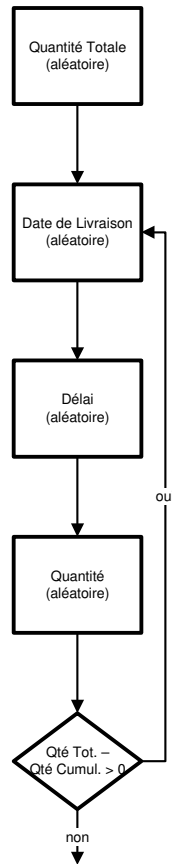


Figure 5. Génération de demandes *spot*

2.3.3. Modèle pour client contrat

Le client contrat, par opposition au client *spot*, ne possède pas la capacité de supprimer une demande si elle n'est pas comblée à temps. L'hypothèse est faite qu'une entente d'exclusivité lie le fournisseur au client, et que le fournisseur devrait être en mesure de respecter les demandes de son client sous peine de payer des pénalités.

Par ailleurs, les demandes du client contrat surviennent à des intervalles relativement réguliers comparativement aux demandes *spot* où il n'existe aucune régularité de ce genre.

La méthode pour générer les demandes diffère également. La première partie de l'algorithme (Figure 6) sert à établir la liste des dates associées aux demandes. En partant de la date de début de simulation, la liste est remplie en tirant un intervalle avec la prochaine demande jusqu'à ce que la date ne soit plus dans l'horizon de simulation.

Une fois cette liste complétée, la quantité totale sera tirée et répartie en utilisant des facteurs de saisonnalité. Pour chaque date de commande dans la liste, l'algorithme lui attribue un pourcentage de commande représentant le poids de la date dans la courbe de saisonnalité sur le poids total.

La dernière étape consiste à appliquer un bruit à chaque quantité pour ne pas que la quantité demandée suive exactement la courbe de saisonnalité. Généralement, ce sera un bruit gaussien, de moyenne centrée à un et d'un écart-type représentant le degré de variation, qui multipliera la quantité.

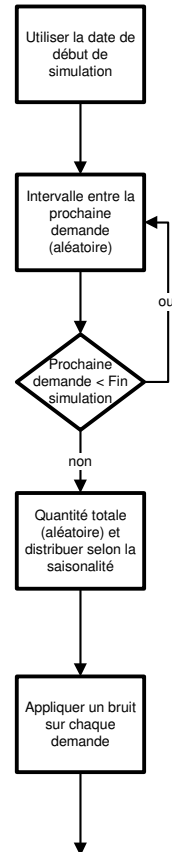


Figure 6. Génération de demandes contrat

3. SIMULATEUR

Nous avons développé un simulateur constitué de trois modules principaux : le système APS destiné à mimer le comportement du réseau de production, un agent client simulant le comportement du marché, et le simulateur en tant que tel, utilisé par l'utilisateur pour comparer différents scénarios.

3.1. Gestion du temps

La gestion du temps se fait à l'aide d'une horloge centralisée. Tous les agents utilisent la même horloge et ainsi il n'y a pas de risque qu'un agent se retrouve en retard (ou en avance) des autres. Une autre solution souvent utilisée consiste à permettre à chaque agent d'utiliser sa propre horloge. Les messages contiennent toujours la date de transmission ce qui permet de faire la coordination entre les agents. C'est la première solution qui a été implantée; l'architecture permettait de faire cette modification rapidement et simplement.

3.2. Fonctionnement de la simulation

La simulation utilise les événements discrets pour fonctionner (Ross, 2002). Le module de simulation possède une liste d'action lui permettant de contrôler la simulation. Chaque action contient les caractéristiques suivantes :

- Nom de l'agent
- Nom de l'action
- Paramètres
- Date de déclenchement

Lorsqu'une action est déclenchée, le simulateur envoie à l'agent ciblé le nom de l'action à effectuer ainsi que les paramètres s'il y a lieu. L'agent qui reçoit cette information indique au simulateur qu'il est en train de travailler et effectue l'action. Une fois l'action complétée, l'agent le signale au simulateur et retourne en veille.

L'action effectuée par un agent peut déclencher une action par un autre agent. Le premier agent envoie alors un message vers le second. Ce dernier récupère le message et ajoute une demande d'action dans la liste du simulateur. L'action peut être déclenchée immédiatement ou plus tard selon les besoins de l'agent demandeur.

Le simulateur possède une liste de tous les agents participant à la simulation et connaît en tout temps leur état (calcul ou veille). Lorsqu'au moins un agent travaille, le temps avance en temps réel. Au moment où tous les agents sont en mode veille, le simulateur cherche la prochaine action à réaliser, avance l'horloge en conséquence et demande à l'agent ciblé de réaliser l'action

3.3. Agent Clients Simulés

En simulation, l'agent *Clients Simulés* utilise les demandes générées à la section 2.3 selon le modèle comportemental spécifique à chaque type de client.

3.3.1 Modèle comportemental (client spot)

A l'initialisation de la simulation, toutes les demandes qui doivent être envoyées avant la date de début de la simulation sont ajoutées au plan de demande pour la création du plan initial. Le plan de demande résultant est par la suite envoyé à l'agent *Ventes*. Les unités de production essaieront de satisfaire le mieux possible les demandes qui sont confirmées. La capacité des machines restante servira à faire du flux poussé puisque les demandes prévues seront comblées par l'ATP (Available to promise).

Le client détermine ensuite quelles sont les demandes prévues qui sont comblées à temps avec l'approvisionnement reçu. Elles deviendront des demandes confirmées. S'il reste des demandes qui n'ont pas été confirmées, le client les retirera du plan et le

nouveau plan sera de nouveau envoyé à l'unité de planification de production.

Si la simulation n'est pas complétée, l'agent créera un nouveau plan de demande. Ce plan contiendra les demandes confirmées du plan précédent généré lors de la première boucle de l'algorithme (Figure 7). De plus, il ajoutera toutes les nouvelles demandes dont la date effective se situe avant la date courante de simulation.



Figure 7. Comportement du client *spot*

3.3.2 Modèle comportemental (client contrat)

Avant d'expliquer ce modèle, il convient de mentionner que le plan de demande se divise en trois horizons : définitif, évolutif et provisoire. Ces horizons servent à perturber la demande suivant le principe que plus la demande est éloignée dans le futur, plus elle est incertaine. Dans l'horizon définitif qui débute à la date de simulation courante, les demandes sont fixes et ne peuvent pas changer. À l'autre extrémité, dans l'horizon provisoire il n'existe aucune contrainte sur les demandes et elles peuvent être modifiées complètement. Entre les deux, les quantités des demandes peuvent changer mais l'augmentation ou la diminution est limitée par une contrainte de variation.

Lors de l'initialisation de la simulation, le client crée un plan vide. À ce plan, l'agent ajoute les demandes qui

sont dans les trois horizons. Ce plan de demande est envoyé au réseau de production et il cherche à satisfaire cette demande.

Si la simulation n'est pas terminée, une copie de ce plan est faite, les horizons sont déplacés selon la nouvelle date courante et les nouvelles demandes qui font parties de ces horizons sont ajoutées (Figure 8). Les demandes existantes dans l'horizon évolutif et provisoire sont modifiées en tenant compte des limites s'il y en a.

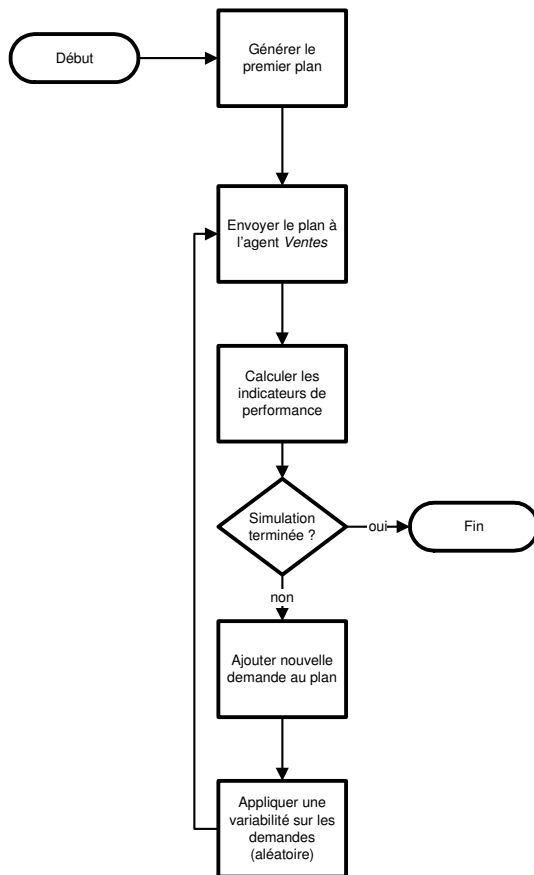


Figure 8. Comportement du client contrat

3.4. Applications possibles

Les applications possibles pour le système proposé sont nombreuses. Il est possible d'étudier l'impact de décisions stratégiques, tactiques ou opérationnelles et d'observer les conséquences qu'elles pourraient avoir. Il devient plus facile de répondre à des situations qui pourraient avoir des impacts importants. « Qu'arriverait-il si une de mes machines brisait ? Quels seraient les dommages si un de mes fournisseurs tombait en grève ? Quel est l'impact de l'ajout d'un quart de travail dans cette unité de production ? »

De plus, avec un tel système, il devient beaucoup plus facile de conseiller des industriels. En effet, en utilisant le même système que les chercheurs, il est plus aisé pour eux d'interpréter les résultats puisqu'ils sont habitués à cet outil.

4 EXPERIMENTATION

Le cas et le système introduits précédemment ont été utilisés pour réaliser l'expérimentation suivante. Celle-ci portait sur la segmentation de la clientèle. Plus spécifiquement, il s'agissait d'évaluer le pourcentage de la production devant être vendue à contrat (0%, 20%, 40% ou 65%) qui maximise les profits en considérant qu'en cas de retard une pénalité de 5% de la valeur des produits par jour de retard est imposée.

Les agents ont des horizons de planification de 30 jours. À chaque semaine, l'agent client envoie un plan de demande mis à jour (*spot* et contrat). Cet événement cause une replanification à travers le réseau de production. Pour chaque volume de contrat, cinq réplifications de l'expérience ont été réalisées. Le minimum et le maximum de revenu obtenus (moins les pénalités) sont illustrés sur la Figure 9.

Selon les résultats obtenus et pour le cas Virtual Lumber Case tel qu'il a été modélisé, la quantité optimale de contrat serait autour de 40% de la capacité de production. Une fois dépassée ce taux, la moyenne des revenus tend à diminuer. Également, il y a alors une moins grande différence entre le maximum et le minimum.

5. CONCLUSION

À notre connaissance, il n'existe pas de simulateur dont le cœur est composé d'un outil APS. Ces travaux constituent un premier pas dans ce sens. Ils présentent des résultats et l'utilisation d'un agent pour la génération de la demande. L'objectif de cet article était de montrer comment un système APS peut être utilisé pour répondre aux interrogations des décideurs. Donc, un simulateur a été développé en utilisant la plateforme expérimentale For@c et en y intégrant de nouveaux modules.

Comme travaux futurs, nous entendons procéder à l'ajout d'un agent *Fournisseurs Simulés*. Il permettrait de rendre les simulations davantage conformes à la réalité en donnant la possibilité de modifier l'approvisionnement en billes en cours de la simulation. Nous devons également incorporer des mécanismes permettant de perturber la production en cours de simulation. Cela permettra d'étudier la robustesse des algorithmes utilisés par le système APS.

Revenu en fonction de la segmentation de la clientèle

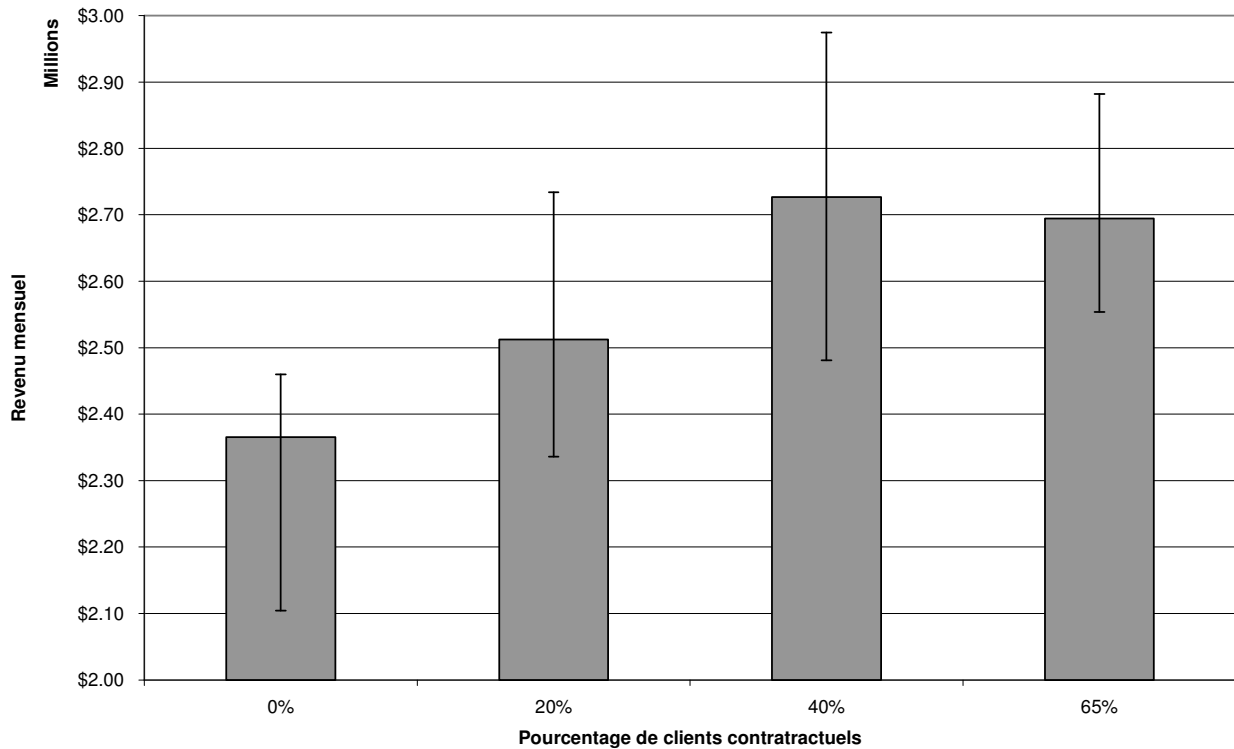


Figure 9. Résultats des premières expérimentations

Remerciements

Ce travail a été financé par le Consortium de Recherche Forac et le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG).

REFERENCES

Balci O., 1986. Credibility Assessment of simulation results. *Proceedings of the 1986 Winter Simulation Conference*, J. Wilson, J. Henriksen, S. Roberts (eds.), p. 38-44.

D'Amours, S., J.-M. Frayret, A. Rousseau, S. Harvey, P. Plamondon and P. Forget, 2006. Information Technology for Balanced Manufacturing Systems, in *IFIP International Federation for Information Processing*, Volume 220, ed. Shen, W., (Boston: Springer), p. 17-26.

Frayret J.-M., S. D'Amours, A. Rousseau, S. Harvey, J. Gaudreault, 2007. Agent-based Supply Chain Planning in the Forest Products Industry, à paraître dans *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, CIRRELT, Université Laval, Document de travail DT-2005-JMF-1.

Matsumoto M and T. Nishimura, 1998. Mersenne Twister: A 623-Dimensionally Equidistributed Uniform Pseudo-Random Number Generator. *ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation*, 8(1), p. 3-30.

Robinson S., 2002. General concepts of quality for discrete-event simulation. *European Journal of Operational Research*, 138(1), p. 103-177.

Rönnqvist M., 2003 Optimization in forestry, *Mathematical Programming, Series B 97*: p. 267-284.

Ross S. M., 1993. Introduction to probability models, *Academic Press*, 5e edition.

Ross S. M., 2002. Simulation, *Academic Press*, 3e edition.

Sargent R. G., 1992. Validation and verification of simulation models. *Proceedings of the 1986 Winter Simulation Conference*, ed. J. J. Swain, D. Goldman, R. C. Crain, and J. R. Wilson, p. 104-114.

Stadler H., 2005. Supply chain management and advanced planning—basics, overview and challenges. *European Journal of Operational Research*, 163(3), p. 575-588.