

**L'influence des facteurs internationaux sur la
compétitivité des réseaux de création de valeur
multinationaux :**
le cas des compagnies canadiennes de pâtes et papiers

Alain Martel,
Wissem M'Barek
et
Sophie D'Amours

Mars 2006

Document de travail DT-2006-AM-1

(Révisé, Juillet 2006)

Consortium de recherche FORAC,
Centre de recherche sur les technologies de l'organisation réseau (CENTOR),
Université Laval, Québec, G1K 7P4, Canada

© *Forac, Centor, 2006*



L'influence des facteurs internationaux sur la compétitivité des réseaux de création de valeur multinationaux : le cas des compagnies canadiennes de pâtes et papiers¹

Résumé

Les tarifs douaniers, les taux de change, les taux d'imposition corporatifs, les facteurs nationaux de production (ressources naturelles, main d'œuvre, capital et infrastructures), les prix de transfert, les barrières commerciales et la distribution géographique de l'offre et de la demande sont des facteurs qui ont un impact important sur les performances d'une compagnie multinationale. Or, la position relative des pays par rapport à la majorité de ces facteurs évolue dans le temps. Pour demeurer concurrentielles, les entreprises multinationales doivent donc adapter périodiquement la structure de leurs réseaux de création de valeur aux changements structuraux des facteurs internationaux. Cet article montre que ce constat est particulièrement valable pour les compagnies canadiennes de pâtes et papiers. Après avoir analysé l'évolution des facteurs internationaux qui façonnent la performance des compagnies de pâtes et papiers, nous montrons comment les modèles d'optimisation des réseaux logistiques couramment disponibles peuvent être utilisés pour restructurer les réseaux de création de valeur des compagnies. Nous terminons avec une discussion sur les extensions nécessaires aux modèles existants d'optimisation de réseaux pour capturer l'ensemble des facteurs importants pour l'industrie des pâtes et papiers.

Introduction

De nos jours, avec l'ouverture des marchés, l'émergence de nouveaux blocs commerciaux et la compétition croissante de l'étranger, les entreprises ne peuvent pas s'isoler des facteurs internationaux et, pour améliorer leur compétitivité, elles doivent déployer des réseaux de création de valeur multinationaux. L'industrie canadienne des pâtes et papiers n'échappe pas à ce contexte mondial. Maximiser les rendements dans cette industrie est une tâche complexe et les facteurs internationaux comme les taux de change, la fiscalité, l'accès aux ressources, les politiques commerciales et la distribution géographique de l'offre et de la demande peuvent avoir un impact significatif sur les performances d'une compagnie. L'objectif de cet article est d'identifier les principaux facteurs internationaux ayant un impact sur l'industrie des pâtes et papiers et de montrer comment ils peuvent être pris en compte pour concevoir des réseaux de création de valeur supérieurs. Bien que le problème soit traité dans le contexte de l'industrie canadienne des pâtes et papiers, l'approche proposée est générique et pourrait être utilisée dans n'importe quel autre contexte.

L'article est organisé comme suit. On présente d'abord la scène concurrentielle internationale de l'industrie canadienne des pâtes et papiers. Les problèmes liés à l'offre, à la demande, à la production, à la distribution et aux facteurs concurrentiels nationaux sont examinés. On montre ensuite que les modèles d'optimisation de réseaux logistiques globaux les plus récents peuvent être utilisés pour adapter la structure des réseaux multinationaux de production et de distribution des entreprises de pâtes et papiers à l'évolution des facteurs internationaux. Finalement, on discute les extensions nécessaires pour la prise en compte de tous les facteurs concurrentiels pertinents dans l'industrie des pâtes et papiers.

Contexte industriel

Le Canada fabrique du papier depuis 200 ans et, depuis le début du 20^{ème} siècle, il est l'un des plus grands exportateurs de pâtes et papiers au monde. En 2005, l'industrie canadienne a produit 10,8 millions de tonnes de pâtes commerciales, 7,8 millions de tonnes de papier journal, 6,7 millions de tonnes de papier d'impression et d'écriture et 3,7 millions de tonnes de cartons. Seulement 16,4% de cette production a été distribué (vendu) au Canada. Le reste a été exporté aux États-Unis (52%), en Asie (17,7%) et en Europe occidentale (9,7%). La valeur des exportations est de 19 milliards de dollars, ce qui correspond à une intensité d'exportation de 70%, la plus haute de tous les secteurs industriels canadiens. La balance commerciale du secteur des pâtes et papiers était, en moyenne, de \$17,9 milliards durant la dernière décennie, soit plus de 50% de la balance commerciale du pays. Cette industrie intensive en capital emploie près de 100 000 personnes au Canada².

Pour fabriquer la pâte à papier, il faut isoler les fibres de cellulose des impuretés du bois, du papier recyclé ou d'autres sources de fibres. Le papier est produit en roulant cette pâte à papier en feuilles. Les produits finis sont obtenus du papier et d'autres matériaux par différentes techniques de couchage, de découpe et de mise en forme. Ces processus de fabrication définissent des réseaux de création de valeur complexes, comme la *Figure 1* le montre pour le papier d'impression et d'écriture. Les compagnies de l'industrie sont organisées de différentes façons. Certaines sont intégrées verticalement : elles possèdent et contrôlent toutes les installations de création de valeur, de la forêt aux clients. D'autres ne sont pas intégrées et elles s'appuient sur des sous-traitants pour réaliser une partie de leurs engagements envers leurs clients. Ces possibilités sont illustrées à la *Figure 1*. Les liens entre le réseau externe et le réseau interne définissent différentes possibilités d'externalisation.

Le réseau de création de valeur des principaux acteurs de l'industrie des pâtes et papiers est multinational. Les plus grandes entreprises du secteur dans le monde sont d'origine américaine, japonaise, finlandaise, suédoise, norvégienne ou canadienne. L'industrie a vu beaucoup de fusions et d'acquisitions au cours des dernières années et on s'attend à ce que sa consolidation globale continue, avec pour conséquence la domination du marché par un petit groupe de compagnies multinationales.

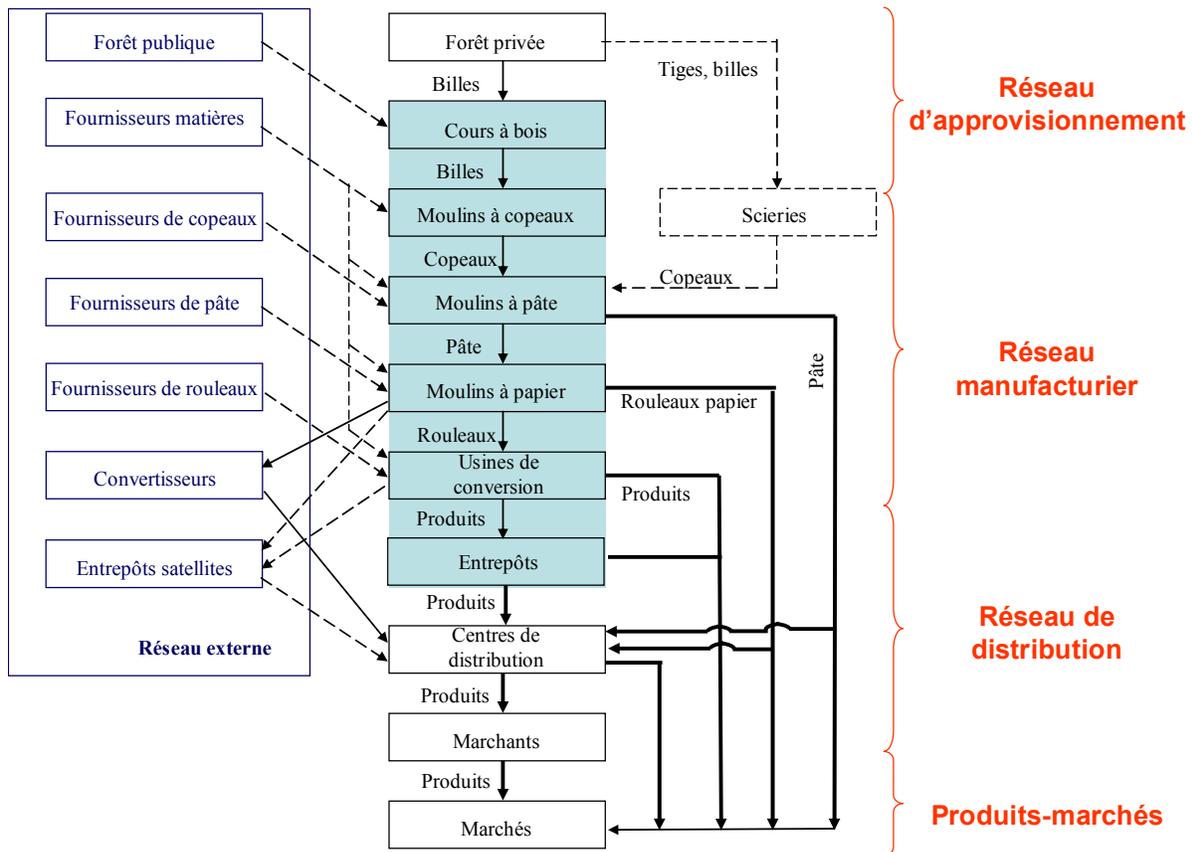


Figure 1 : Le réseau de création de valeur pour les pâtes d'impression et d'écriture

Dans ce qui suit, nous présentons les quatre principaux sous-réseaux de la chaîne de création de valeur de l'industrie des pâtes et papiers soit, son réseau d'approvisionnement, son réseau manufacturier, son réseau de distribution et ses produits-marchés. Nous terminons cette partie du texte par une discussion des facteurs nationaux et mondiaux qui sont déterminants pour le succès des compagnies de pâtes et papiers.

Produits-marchés globaux

Il existe une large gamme de produits du papier qui peuvent être classifiés en cinq familles principales : le papier journal, le papier d'impression et d'écriture (couché ou non-couché, mécanique ou sans bois), le papier kraft, le papier hygiénique et à usages spéciaux ainsi que le carton. De plus, la pâte à papier peut être vendue directement sur le marché. Selon Juslin & Hansen (2002), les parts de marché mondial pour les segments des produits du papier étaient, en 1998, d'environ 30% pour le papier d'impression et d'écriture, 12% pour le papier journal, 40% pour les cartons, 6% pour le papier hygiénique et 12% pour les autres produits. Cependant, les tendances à long terme actuelles indiquent que cela est entrain de changer. On prévoit que la demande pour le papier couché, le papier sans bois et le papier hygiénique augmentera de façon significative, tandis que la demande pour le papier journal poursuivra sa descente, amorcée en 2000. À long terme, on s'attend également à des pertes de parts de marché du papier d'impression et d'écriture face à l'engouement pour l'e-papier et l'Internet. Ces prévisions correspondent à la position des produits du papier sur leurs courbes de cycle de vie : les papiers couchés, sans bois et hygiénique sont dans leur phase de croissance ou approchent leur phase de maturité, tandis que le papier d'impression et d'écriture non-couché mécanique est dans sa phase de maturité et que le papier journal est dans sa phase de déclin. Ces tendances sont aussi partiellement expliquées par les préoccupations environnementales et la demande croissante pour des produits écologiques.

La demande pour plusieurs produits du papier est cyclique et varie de façon significative dans le temps. C'est aussi vrai pour les prix de la pâte et du papier, tel qu'illustré à la *Figure 2*. Selon Juslin et Hansen (2002), les principaux consommateurs de papier et de cartons sont les États-Unis, la Chine, le Japon et les pays européens occidentaux. Le Japon est autosuffisant, mais

les États-Unis, la Chine, l'Allemagne, le Royaume-Uni et la France importent de grandes quantités de papier. À l'échelle mondiale, environ 29% de la production de papier et de carton est exportée. Le Canada est le plus grand exportateur avec 22% des exportations mondiales et les États-Unis sont le plus grand importateur avec 24% des importations mondiales : environ 15% des échanges mondiaux de papier viennent de ces deux pays. Plus de 60% des pâtes et papiers canadiens sont exportés aux États-Unis. Par contre, la consommation de papier en Asie augmente plus vite qu'en Amérique et en Europe, ce qui constitue une opportunité intéressante pour les sociétés canadiennes de pâtes et papiers.

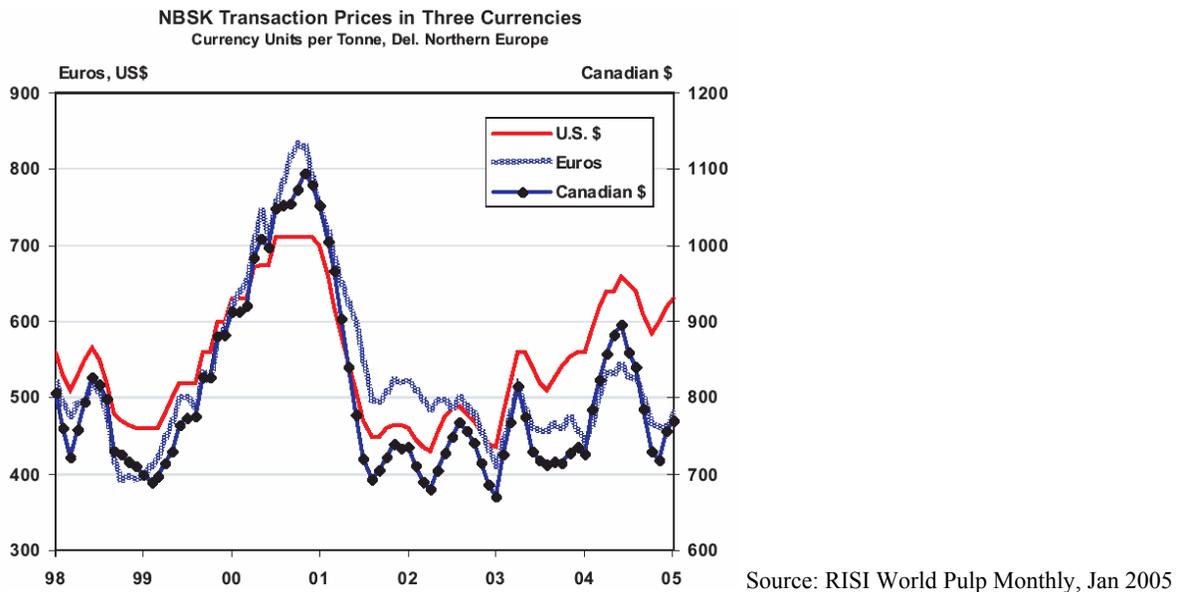


Figure 2 : Prix de la pâte à papier au cours des sept dernières années

Ces tendances reflètent des modifications importantes des structures du marché, tant en terme de distribution géographique de la demande que de part de marché par type de produit. Pour s'adapter à ces changements, les réseaux de création de valeur des compagnies doivent être repensés.

Réseaux de production et de distribution

L'industrie des pâtes et papiers au Canada est très étendue, mais une bonne partie de ses

usines sont vieilles et relativement petites, avec pour conséquence des coûts de production unitaire assez élevés. Pour illustrer ceci, la *Figure 3* présente la position des moulins canadiens de pâte de résineux blanchie dans le monde. La position des moulins canadiens à papier journal sur la courbe du coût de production mondial d'une tonne de papier journal est aussi illustrée à la *Figure 4*. Les papetières situées sur la partie gauche de cette courbe sont compétitives tandis que celles de droite sont peu rentables. Avec le dollar canadien à plus de 0,85 \$US, la majorité des papetières canadiennes (marquées d'un point sur la courbe) se situent maintenant dans les troisième et quatrième quarts. Étant donnée la surcapacité de production à l'échelle mondiale et en particulier au Canada pour certains grades de pâtes et papiers, il y a un besoin évident de rationaliser la production en fermant les vieilles usines inefficaces, et en réorientant les papetières dédiées aux marchés en déclin, comme le papier journal, vers des produits en croissance, comme les papiers à valeur ajoutée. Cette opportunité vaut vraiment la peine d'être exploitée parce que les fibres d'épinettes noires que l'on retrouve au Canada ont des propriétés de résistance qui permettent de produire du papier de qualité supérieure difficile à atteindre pour plusieurs de nos concurrents. Actuellement, la qualité de cette fibre n'est pas pleinement exploitée parce qu'on l'utilise pour fabriquer des produits de bas de gamme.

Certaines de ces actions exigent des investissements importants. L'industrie a vu plusieurs fusions et fermetures de papetières au cours des dernières années en Amérique du Nord et les dépenses de capital ont diminué progressivement depuis le début des années 1990. Actuellement, la plupart des dépenses de capital en Amérique sont consacrées à la modernisation ou à la conversion des papetières. Ces investissements faibles sont partiellement expliqués par la surcapacité de production, tel qu'indiqué auparavant, mais aussi par le fait que l'industrie a beaucoup de difficultés à lever des fonds. Le taux de rendement du capital utilisé, une mesure de

performance clé pour les industries à prédominance de capital, s'élevait à 4,4% en moyenne en 2004 pour l'industrie canadienne des produits forestiers. Cette performance correspond à celle de l'industrie européenne, derrière les États-Unis (6,4%), alors que la moyenne du secteur était de 5,5%³. Avec ces résultats, il n'est pas surprenant que l'industrie ait été marginalisée sur les marchés de capitaux.

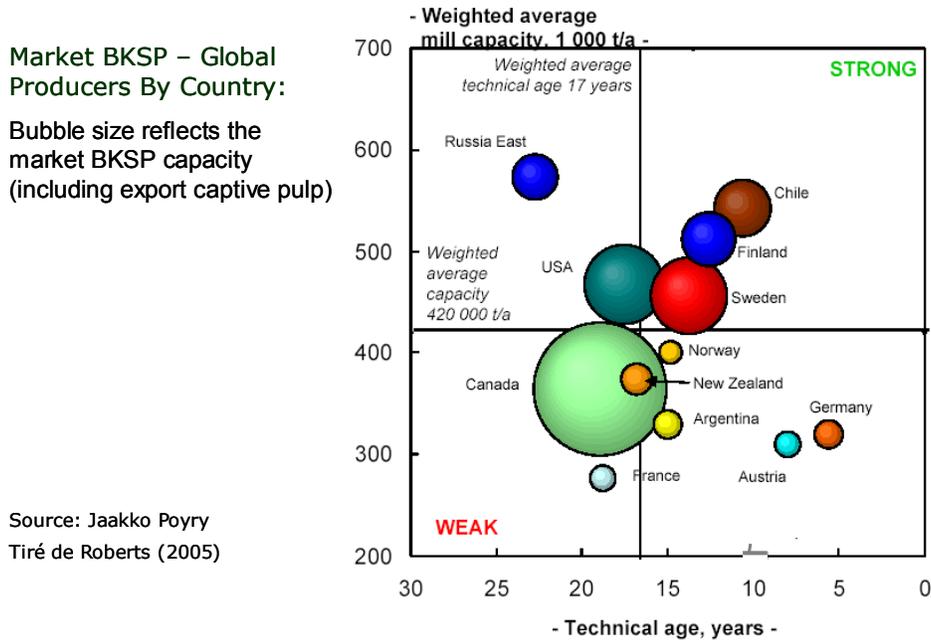


Figure 3 : Producteurs de pâtes commerciales par pays

Newsprint Mill Cost Position with CDN\$ at US\$.66:

Cost curve and Canadian dollar as of December 2000.

Canadian Mills marked with dots.

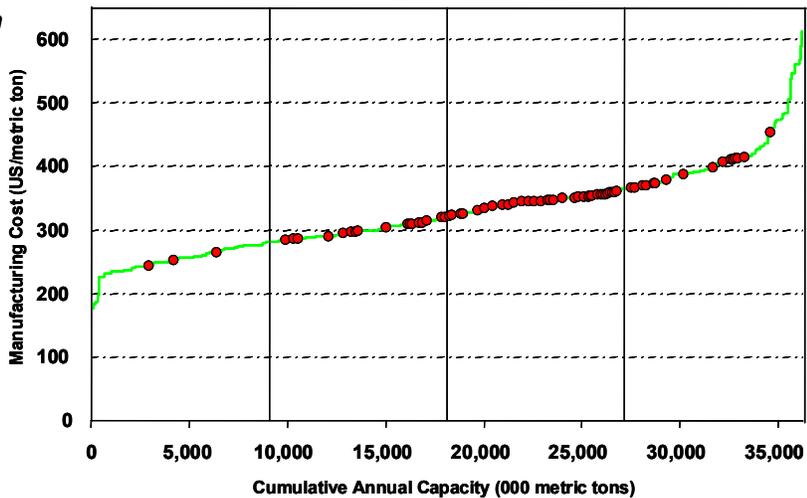


Figure 4 : Coût de production par tonne des moulins à papier journal

Les moulins à pâtes et papiers fabriquent certains produits sur stock et d'autres sur commandes. Ils utilisent différents canaux pour distribuer ces produits sur le marché. Dans le réseau de production et de distribution, les produits sont transportés par bateaux, trains et camions. En Amérique du Nord, les gros tonnages sont transportés par train, mais c'est quand même le transport routier qui domine. Les coûts d'entreposage et de transport des pâtes et papiers dans la chaîne logistique peuvent facilement dépasser 20 % du prix de vente. Les moulins canadiens étant souvent loin de leurs marchés, avec l'augmentation des coûts du pétrole que nous vivons actuellement, les coûts de transport deviennent extrêmement importants. De plus, les clients exigent des niveaux de service améliorés et, dans plusieurs produits-marchés, ils demandent une livraison le jour suivant.

On comprendra que, dans cette industrie à faibles marges bénéficiaires, la structure du réseau de création de valeur d'une entreprise peut faire la différence entre la rentabilité et la faillite. Les pressions importantes subies par le système de production et de distribution de l'industrie nous amènent à la conclusion que pour demeurer ou devenir concurrentielles, nos entreprises doivent reconcevoir leurs réseaux de création de valeur.

Sources mondiales d'approvisionnement en matières premières

Selon Industrie Canada, les coûts de fabrication dans l'industrie des pâtes et papiers sont dominés par le coût des matières premières (70%), de la main d'œuvre (16%) et de l'énergie (14%). Les coûts de matières ont augmenté selon un taux de croissance annuel composé de 3,4% depuis 1993 pour atteindre \$10,9 milliards en 2002, alors que les coûts d'énergie (combustible et électricité) ont augmenté de \$2,1 milliards en 1993 à \$2,9 milliards en 2002, soit à un taux moyen de 4,0%. Avec 10% des forêts mondiales et 20% des réserves mondiales d'eau douce, le Canada a un avantage comparatif pour ce qui est de l'approvisionnement en matières premières. Dans le

passé, grâce à cette dotation en ressources naturelles, les entreprises du secteur ont pu profiter d'un approvisionnement à bas prix en fibre et en eau, de même que d'une énergie peu coûteuse car l'essentiel de l'énergie produite au Canada est hydro-électrique. Il n'est donc pas surprenant qu'avec de telles ressources naturelles, le Canada soit devenu le plus grand exportateur de produits forestiers au monde.

Cependant, les environnements économiques et politiques ont changé, et plusieurs des avantages canadiens traditionnels s'érodent progressivement. Avec le développement de la fabrication thermomécanique de la pâte à papier, l'utilisation de fibres bon marché, comme l'eucalyptus qui est un feuillu qui pousse au sud-est des États-Unis et dans plusieurs pays en voie de développement comme le Chili et le Brésil, devient possible et rentable. De plus, le développement des nouvelles technologies de production et les programmes de recyclage mis en place favorisent l'utilisation croissante du papier récupéré dans la production de fibre (26% de la fibre canadienne). Or, la fibre récupérée est disponible autant aux États-Unis et en Europe qu'au Canada. Par conséquent, l'avantage fourni par les ressources naturelles du Canada n'est plus aussi significatif qu'auparavant, surtout lorsqu'on tient compte de la force actuelle du dollar canadien.

D'autre part, les forêts canadiennes sont surtout situées au nord du pays et la distance à parcourir pour amener la fibre aux papeteries augmente constamment, ce qui ajoute un prix de transport substantiel, surtout depuis les importantes augmentations récentes du coût du pétrole. En comparaison avec les compagnies brésiliennes qui peuvent cultiver l'eucalyptus dans l'arrière-cour de leurs papeteries, les coûts de transport de ces dernières sont beaucoup plus faibles. Au Canada, un conifère requiert de 30 à 40 ans pour se régénérer tandis que l'eucalyptus au Brésil le fait en 7 ans seulement, en moyenne. En outre, une législation environnementale

stricte restreint de plus en plus l'accessibilité à la forêt au Canada. Au Québec, par exemple, dans la foulée du rapport Coulombe, une baisse de 20% du calcul de la possibilité forestière vient d'être imposée par le gouvernement. Enfin, le coût de l'énergie électrique a été gardé bas dans le passé en partie parce que l'électricité était produite par des sociétés d'état. La privatisation de l'énergie en Ontario et les récentes hausses de prix annoncées par Hydro-Québec laissent croire que cette époque est révolue. Ceci nous amène à la conclusion que ces changements importants des conditions d'approvisionnement imposent une réingénierie des réseaux de création de valeur des entreprises de l'industrie.

Facteurs nationaux

En plus des nombreux règlements déjà mentionnés, l'industrie canadienne des pâtes et papiers souffre d'un système fiscal peu avantageux. Depuis 1997, la charge fiscale du Canada en pourcentage du PIB (36,8%) est beaucoup plus lourde que celle de plusieurs partenaires commerciaux du Canada comme les États-Unis (29,7%), le Japon (28,8%) et le Mexique (16,9%) (Martin & Porter, 2001). Selon l'Association des produits forestiers du Canada, le taux d'imposition marginal réel appliqué aux nouveaux investissements au Canada est considérablement plus élevé que dans n'importe quel autre pays exploitant la forêt. Ainsi, le système fiscal canadien dissuade l'investissement de capitaux, ce qui est critique pour l'avenir du secteur.

Par ailleurs, une enquête réalisée en 2003 par Ernst & Young a révélé que 86% des 641 maisons mères de multinationales interrogées, et 93% des 200 filiales nationales interviewées, ont désigné les prix de transfert comme le facteur international lié à la fiscalité qui les préoccupe le plus. Les prix de transfert sont les prix auxquels les marchandises et les services sont échangés à travers les frontières, entre des filiales d'une même compagnie multinationale. Les politiques

fixant les prix de transfert sont l'une des préoccupations majeures des multinationales puisqu'elles affectent directement la valeur des ventes des filiales et ont donc un impact significatif sur l'évaluation de la performance et la motivation. De plus, les multinationales peuvent utiliser les prix de transfert pour déplacer les profits d'une filiale d'un pays fortement taxé vers une autre située dans un pays moins taxé dans le but de minimiser les charges fiscales et de maximiser les profits globaux après impôts. Comme ces transactions entre filiales devenaient de plus en plus importantes, les gouvernements ont resserré leurs politiques sur les prix de transfert. Depuis 1998, de lourdes amendes peuvent être imposées sur les ajustements de prix de transfert. Bien que la flexibilité diminue constamment, l'OCDE recommande cinq méthodes qui définissent des intervalles de prix de transfert acceptables par les gouvernements. L'impact d'une variation, même mineure, des prix de transfert sur les profits d'une compagnie peut être substantiel.

Le Canada est aussi caractérisé par plusieurs règlements protégeant la qualité de l'air, de l'eau ainsi que la faune et la flore. Le Canada a adopté plusieurs lois pour diminuer les émissions de gaz à effets de serre, entre autres en réduisant l'utilisation de combustibles fossiles et en augmentant la consommation d'énergie de la biomasse. Ces règlements contraignants ont placé le Canada parmi les chefs de file mondiaux de la sylviculture avancée et de l'utilisation efficace des ressources mais tout ceci a un prix.

Facteurs mondiaux

Le Cycle de l'Uruguay de l'Accord général sur les tarifs douaniers et le commerce (GATT) conclu en 1994, de même que l'Accord de libre-échange nord-américain (ALENA) signé lui aussi en 1994, ont eu un impact profond sur l'industrie canadienne des pâtes et papiers. En effet, pour la période 1994-2000, l'industrie a enregistré une croissance annuelle moyenne de

9% dans ses exportations totales et de 13,5% dans ses importations totales avec ses partenaires de l'ALENA (les États-unis et le Mexique). Les négociations du Cycle de l'Uruguay ont conduit à l'élimination des tarifs douaniers sur le "papier et le carton" et "les articles en papier" (GATT, 1994). Cela a aussi eu des effets positifs sur le commerce avec les autres pays (en excluant les États-Unis et le Mexique) car on a enregistré une croissance annuelle moyenne de 8,5% dans les exportations et de 15,9% dans les importations. Pourtant, bien que les droits d'importation aient été éliminés, plusieurs mesures non-tarifaires créent toujours des barrières au libre-échange. En fait, certaines de ces mesures, comme les droits compensateurs et les taxes spéciales, peuvent être considérées comme des droits de douanes déguisés et ils font souvent l'objet de disputes commerciales internationales. D'autres barrières comme les quotas, les règles de contenu local, les barrières administratives et les contraintes écologiques peuvent aussi limiter sévèrement les échanges de marchandises entre les pays.

D'autre part, l'industrie canadienne des pâtes et papiers est très sensible aux fluctuations du taux de change puisqu'elle exporte environ 85% de sa production totale dont 60 % va aux États-Unis. Évidemment, les exportations canadiennes sont fortement corrélées avec la valeur du dollar. Étant donnée la forte compétition dans le marché des pâtes et papiers, les producteurs canadiens ne peuvent pas compenser les variations du taux de change en ajustant leurs prix et, avec l'augmentation actuelle du dollar canadien, il en résulte une baisse substantielle de revenus. Cette situation est particulièrement difficile pour les producteurs dont les principaux coûts sont encourus au Canada. Pour cette raison, la flexibilité de production dans un réseau de création de valeur global peut être un instrument précieux pour atténuer l'impact des fluctuations du taux de change. Ici encore, ces instruments peuvent être mis à contribution seulement si les réseaux de création de valeur de l'entreprise ont été conçus adéquatement.

L'optimisation des réseaux de création de valeur

Ayant amplement démontré la nécessité pour les entreprises de pâtes et papiers d'adapter leurs réseaux de création de valeur à l'évolution de leur environnement global d'affaires, nous examinons dans cette section les modèles d'optimisation trouvés dans la littérature scientifique pour optimiser le réseau logistique d'une entreprise et nous identifions quelques améliorations nécessaires pour que ces modèles puissent être utilisés avantageusement par l'industrie. La conception de réseaux de création de valeur soulève des problématiques de localisation de sites de production-distribution, de gestion de la capacité, de sélection de technologies et de définition de la mission des installations en termes de produits à fabriquer ou stocker et de clients à servir.

Geoffrion et Graves (1974) ont été les premiers à proposer un modèle pour déterminer les centres de distribution à utiliser, de même que l'allocation de produits et de clients à ces centres, afin de minimiser la somme des coûts fixes et variables de production, d'entreposage et de transport dans un contexte domestique. Plusieurs extensions de ce modèle ont été faites par la suite pour tenir compte des multiples échelons de production et de distribution des réseaux de création de valeur, du cas où la demande est saisonnière, de la planification de la capacité pour différentes technologies, ainsi que des économies d'échelle. Une revue de la littérature sur ces extensions est faite par Martel (2005). Pour le contexte international, deux types de modèles ont été proposés. Quelques modèles se concentrent sur l'impact qu'une demande et un taux de change aléatoire peuvent avoir sur la localisation d'une usine unique (Pomper, 1976; Hodder et Jucker, 1985; Hodder et Dincer, 1986; Haug, 1991) et d'autres couvrent un spectre plus large d'alternatives de conception des réseaux de production et de distribution pour maximiser les revenus nets après impôts, mais en supposant que l'environnement d'affaires futur est connu (Cohen et al., 1989; Arntzen et al., 1995; Vidal and Goetschalckx, 2001; Bhutta et al., 2003;

Martel, 2005). Plusieurs de ces articles et autres publications reliées sont passées en revue par Goetschalckx et al. (2002) et Bhutta (2004).

Quelques modèles de conception de réseaux ont aussi été développés spécifiquement pour l'industrie des pâtes et papiers. Bender et al. (1981) expliquent comment International Paper, la plus grande compagnie de pâtes et papiers au monde, analyse et résout ses problèmes de conception de réseau avec des modèles de programmation mathématique. Philpott et Everett ont travaillé avec les gestionnaires des filiales de Fletcher Challenge situées en Australie et au Canada pour développer trois modèles connus sous les noms PIVOT, SOCRATES et COMPASS et publiés, respectivement, dans Philpott et Everett (1999), Everett et al. (2000) et Everett et al. (2001). Ces modèles ont été développés dans un contexte national et ils n'incluent pas de facteurs internationaux, bien qu'ils soient utilisés par une société multinationale. Weigel (2005) a également proposé un modèle de conception de réseaux pour les usines de pâtes et papiers ayant plusieurs fournisseurs de fibre, plusieurs technologies et plusieurs recettes de fabrication.

Un cadre général de modélisation mathématique qui peut être appliqué à l'industrie des pâtes et papiers est présenté par Martel (2005). Une version de ce modèle d'optimisation adapté à l'industrie du bois d'œuvre est proposée par Vila et al. (2006). Le modèle couvre les principales décisions stratégiques pertinentes pour le secteur et il incorpore les principaux facteurs internationaux dont il faut tenir compte. Cependant, le contexte d'affaires est supposé déterministe. La structure du réseau logistique potentiel de la société multinationale considérée par ces modèles est illustrée à la *Figure 4*. Dans notre contexte, ce réseau serait composé de fournisseurs de fibre et de produits chimiques, d'usines de pâtes et papiers, d'usine de transformation en produits finis, de centres de distribution et de marchands déployés à travers le monde. La nomenclature simplifiée de produits prise en compte par ces modèles est illustrée à la

Figure 5. Les centres de production reçoivent la matière première des fournisseurs externes et ils effectuent la transformation, la séparation ou l'assemblage de produits finis et semi-finis. Ces produits sont ensuite envoyés aux différents centres de distribution et aux marchands pour être stockés ou livrés dans les zones de demande. La nature des coûts fixes, des coûts variables et des revenus pris en compte le long de la chaîne de valeur est illustrée à la Figure 6. La structure du modèle de programmation mathématique obtenue est illustrée à la Figure 7. Pour un cas réel, ce modèle inclurait plusieurs centaines de milliers de variables d'optimisation et plusieurs dizaines de milliers de contraintes.

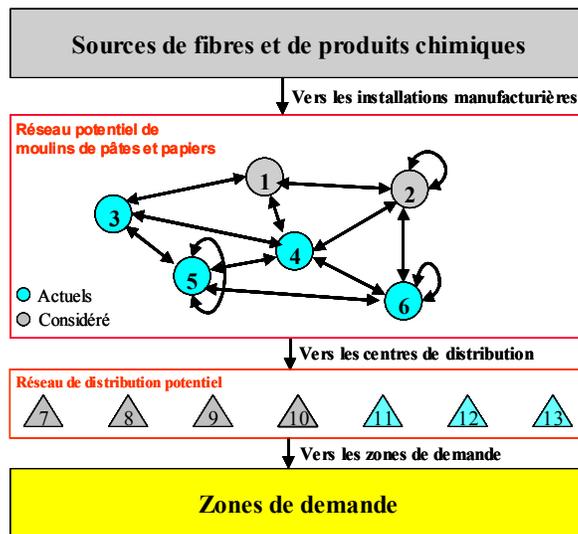


Figure 4: Réseau logistique potentiel

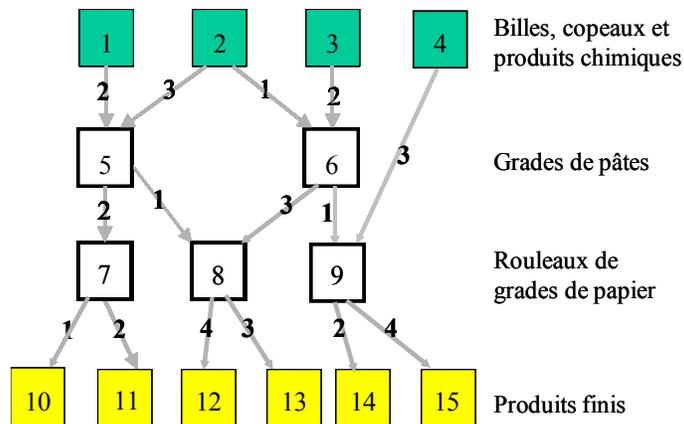


Figure 5: Nomenclature agrégée des produits

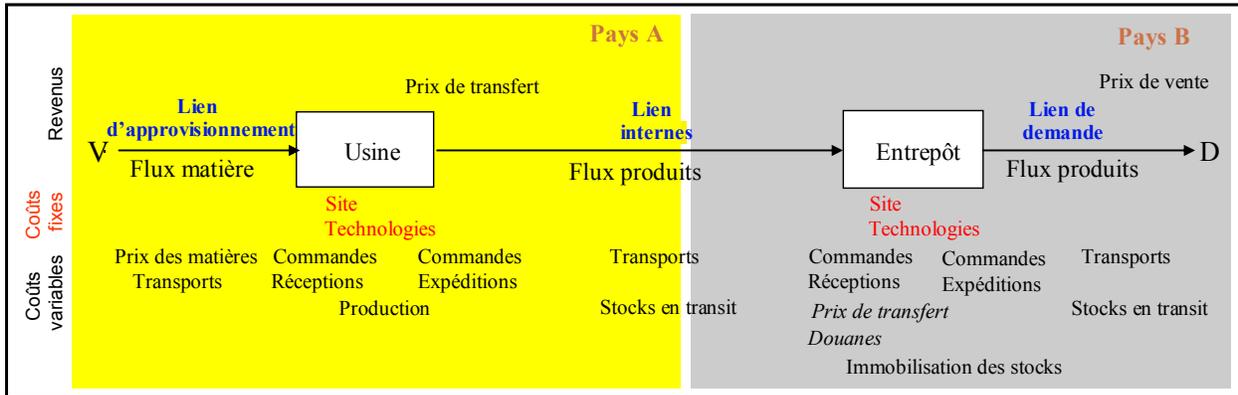


Figure 6 : Coûts et revenus du modèle d'optimisation

$$\text{Max } \sum_{\text{pays}} \text{Taux change} \cdot (1 - \text{Impôt}) \cdot [\text{Revenus} - (\text{coûts localisation} + \text{coûts de configuration des installations} + \text{coûts de production et de manutention} + \text{coûts d'immobilisation des stocks} + \text{coûts d'achat des matériaux} + \text{coûts des flux dans le réseau} + \text{douanes...})]$$

sujet aux contraintes :

- de pénétration et de marché potentiel par zone de demande
- de sélection de sites et de technologies
- de ravitaillement en matières premières
- de « recettes » de production
- de capacité de production et de stockage
- de service à la clientèle
- de conservation des flux dans les usines et les entrepôts
- de contenu local

Figure 7 : Structure de la fonction économique et des contraintes du modèle d'optimisation

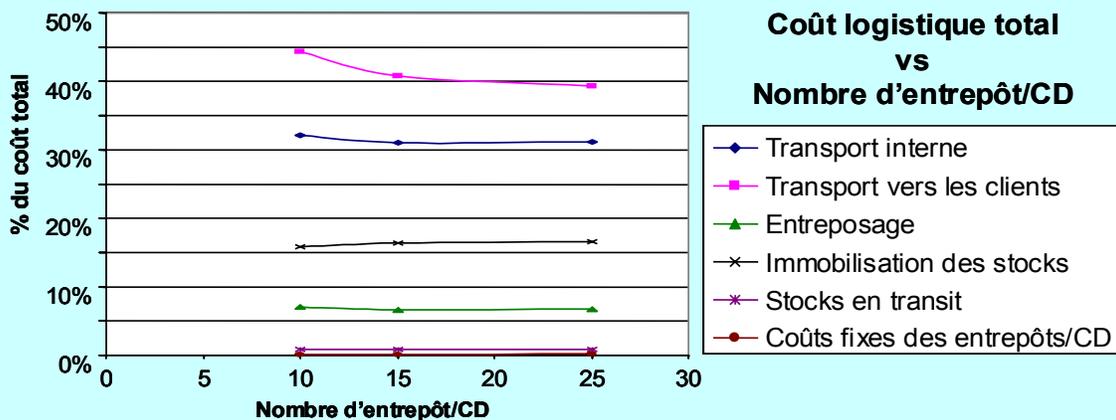
Malgré leur grande taille, ces modèles peuvent être résolus en un temps raisonnable avec des logiciels d'optimisation modernes comme CPLEX 10.0. Une variante du modèle de Martel (2005) a été utilisée pour restructurer le réseau de distribution nord-américain d'une des plus grandes compagnies canadiennes de pâtes et papiers. Cette application et les résultats obtenus sont décrits brièvement dans l'encart qui suit. Cet exemple montre que la réingénierie, même partielle, d'un réseau de création de valeur multinational peut être très bénéfique.

Le design du réseau de distribution nord-américain d'une papetière canadienne

Une grande compagnie canadienne de pâte et papier a utilisé un modèle d'optimisation comme celui de la Figure 7 pour restructurer son réseau logistique Nord-Américain suite à l'acquisition du réseau d'un ancien concurrent. Le réseau de l'entreprise ressemblait à celui qui est décrit à la Figure 1. Lors de l'étude, il regroupait 12 moulins à pâte ou papier, 13 convertisseurs, 8 entrepôts satellites, 28 centres de distribution (CD) et 14 000 points de livraison au Canada et aux États-Unis. Près de 20 000 produits semi-finis et finis étaient fabriqués et distribués par l'entreprise. Les deux-tiers des produits étaient vendus sur stock (PVS) et les clients s'attendaient à ce que ces produits soient livrés le jour suivant leur commande. Les autres produits étaient fabriqués sur commande (PFC). La compagnie effectuait environ 250 000 expéditions par année dans le réseau par camion ou par train. L'objectif de l'étude, était de déterminer le nombre, la localisation et la mission des entrepôts (en termes de produits à stocker et de clients à desservir) qui minimise les coûts logistiques tout en augmentant la proportion des commandes clients livrées le jour suivant. Dans cette étude, les usines étaient considérées comme des sources d'approvisionnement et leur existence n'était pas remise en question.

Pour mener l'étude à bien, trois produits-marchés ont été distingués : la pâte, les PVS et les PFC. Le premier était caractérisé par 4 types de pâtes vendues dans 79 zones de demande, le second par 54 familles de produits vendus dans 540 zones et le troisième par 29 familles de produits vendues dans 357 zones. Seize familles de produits semi-finis ont aussi été définies. Des fonctions flux-inventaire ont été établies par régression pour chaque entrepôt et des fonctions de coût de transport ont aussi été estimées par régression, à partir des données sur les expéditions, pour chaque origine dans le réseau. Le logiciel SCOPE, développé au Centor à l'Université Laval, a ensuite été utilisé pour créer le modèle automatiquement à partir de ces données, et pour faciliter l'analyse de scénarios. Les modèles obtenus incluaient environ 300 000 variables, mais ils pouvaient être résolus en 1-2 minutes avec CPLEX.

Après plusieurs analyses de scénarios, la solution recommandée incluait seulement 24 entrepôts/CD publics. L'estimation des bénéfices découlant du réseau recommandé prévoit une augmentation significative des livraisons le lendemain (de 35% à 80% des livraisons pour les PVS) et une réduction des coûts d'entreposage, d'immobilisation des stocks et de transport de 12 %, ce qui représente plusieurs millions de dollars annuellement. La répartition des coûts pour différents scénarios est illustrée dans la figure suivante.



Le projet a été réalisé par une équipe constituée d'un professeur, d'un professionnel et de deux étudiants au MBA de l'Université Laval, ainsi que de 2 professionnels de l'entreprise. Seuls les étudiants travaillaient à temps plein sur le projet qui s'est échelonné sur une période de 9 mois. Un total de deux années-personnes a été requis pour mener le projet à bien. Le trois-quarts de ce temps a été utilisé pour la cueillette et la validation des données et le reste pour l'optimisation et l'analyse de scénarios. A cause des acquisitions récentes de l'entreprise, 5 systèmes ERP différents étaient utilisés ce qui a été la source d'un grand nombre de problèmes d'intégrité des données. Aussi, plusieurs données manquaient. Ceci a été un problème lors de l'estimation des fonctions d'inventaire et de transport par régression. Ceci a fait aussi qu'il a été très difficile de documenter le statut-quo, c.-à-d. les flux de matières dans le réseau actuel de l'entreprise pour fins de validation du modèle et de comparaison avec l'optimum. En somme, dans ce genre de projets, la modélisation du réseau et la solution du modèle sont souvent les parties les plus faciles.

Des modèles de programmation mathématique semblables à celui que nous venons de décrire peuvent être utilisés pour réévaluer la localisation et la mission des installations d'une compagnie, pour étudier l'impact de la réfection de papeteries ou pour évaluer l'intérêt de fusions et d'acquisitions. Leurs principales limites, du point de vue de l'industrie des pâtes et papiers, sont que l'on suppose que les approvisionnements futurs, la demande, les taux de change et les prix des produits sur le marché sont connus avec certitude, que les prix de transfert sont prédéterminés, et que les compagnies peuvent obtenir les capitaux nécessaires pour financer n'importe quel projet de restructuration. Ces limites ne sont pas spécifiques à l'industrie des pâtes et papiers. Étant donné la nature stratégique des problèmes de conception de réseau, la plupart des secteurs font face aux mêmes problèmes, à divers degrés. Cela est reconnu depuis longtemps par les concepteurs de réseaux logistiques, c'est pourquoi, en pratique, l'utilisation de modèles déterministes statiques tel que celui décrit précédemment est toujours accompagnée d'une analyse de sensibilité et de scénarios étendue. Quand une architecture a été retenue, il est souhaitable d'effectuer une analyse de Monte-Carlo pour évaluer les risques financiers, tel que suggéré par Ridlehoover (2004).

La meilleure approche pour trouver un design robuste consiste à associer des probabilités aux scénarios générés et à utiliser des méthodes d'optimisation probabilistes. La solution qui en résulte n'est pas nécessairement la meilleure pour tous les scénarios mais elle fournit le meilleur compromis selon les probabilités définies. Les deux difficultés principales de cette approche sont l'estimation des probabilités et la taille du problème. Santoso et al. (2005) ont contourné partiellement ces difficultés en proposant des approximations basées sur les techniques d'échantillonnage de Monte-Carlo. Cette approche peut être utilisée pour intégrer les incertitudes des approvisionnements, des demandes et des prix dans le contexte de l'industrie des pâtes et

papiers. Par contre, trois des facteurs importants pour cette industrie ne sont pas pris en compte adéquatement par cette approche, soit les prix de transfert, les taux de change et le financement. Il sera donc utile de les examiner plus en détail.

Prix de transfert

Nous avons déjà discuté de l'impact que le prix de transfert peut avoir sur les profits des multinationales. La plupart des articles sur la conception de réseaux logistiques multinationaux supposent que les prix de transfert sont prédéterminés. Pourtant, pour maximiser les profits nets, ils devraient plutôt être considérés comme des variables de décision qui peuvent prendre des valeurs dans un intervalle réalisable défini par les gestionnaires, compte tenu des politiques gouvernementales. Malheureusement, lorsqu'on procède ainsi, le modèle d'optimisation obtenu n'est plus linéaire et il est beaucoup plus difficile à résoudre. Cohen et al. (1989) ont proposé une procédure hiérarchique pour résoudre un modèle non-linéaire avec variables binaires qui maximise les profits nets après impôts pour un réseau manufacturier global et qui inclut l'optimisation des prix de transfert. Vidal et Goetschalckx (2001) présentent aussi un modèle qui considère les prix de transfert comme des variables de décision. Cependant, pour simplifier le modèle, ils supposent que la localisation des usines est prédéterminée. Ils proposent une méthode heuristique qui applique successivement un programme linéaire sur une version simplifiée du modèle. Ces contributions sont intéressantes, mais elles donnent des modèles très difficiles à résoudre sans leurs hypothèses simplificatrices.

Comme le domaine de variation des prix de transfert est en pratique très restreint, une approche plus simple préservant la linéarité du modèle peut être utilisée. Elle implique une analyse paramétrique sur les prix de transfert courants ou sur la méthode de détermination du prix de transfert, en faisant varier le pourcentage de majoration ou en modifiant la proportion allouée

aux coûts indirects. Cette approche revient à discrétiser le problème à l'aide de variables binaires. Pour réduire la taille du problème, cette analyse peut être faite en appliquant les mêmes pourcentages de variations à tous les prix dans un pays donné. Martel et al. (2005) montrent comment le modèle présenté précédemment peut être étendu pour incorporer cette méthode d'optimisation des prix de transfert.

Taux de change

Dans le contexte économique actuel, les taux de change peuvent varier considérablement au cours du temps : de mai 2005 à mai 2006, le dollar canadien est passé de 0,78 \$US à 0,91 \$US (une augmentation de 16,6 %), ce qui a eu un impact considérable sur les performances financières des compagnies canadiennes de pâtes et papiers. Par conséquent, il est préférable d'utiliser des taux de change variables plutôt que des valeurs moyennes dans les modèles de conception de réseaux. Cela nécessite l'intégration d'un modèle de prévision du taux de change dans l'approche de conception, de même que la prise en compte de la distribution de probabilité des erreurs de prévision. Comme l'historique des variations des taux de change est accessible à partir de différentes sources, un modèle économétrique peut être utilisé pour identifier la tendance des séries temporelles de taux de change (Eiteman et al., 2004). Mohamed (1999) et Bhutta et al. (2003) ont incorporé une fonction linéaire simple de tendance du taux de change dans leurs modèles de conception de réseaux. Cependant, lorsqu'on utilise un modèle de design de réseaux monopériode, comme celui présenté précédemment, les tendances des taux de change ne peuvent pas être représentées : on peut alors seulement tenir compte de la distribution de probabilité des taux de change durant la période considérée. La programmation probabiliste peut alors être utilisée pour formuler le problème. Hodder et Jucker (1985) ont aussi proposé de

formuler le problème avec une approche de gestion de portefeuille classique basée sur des compromis moyennes-variances.

La discussion précédente escamote un point important : elle ne tient pas compte des instruments financiers et opérationnels qu'une société peut utiliser pour réagir efficacement face au risque opérationnel des variations subites réelles de taux de change. Le risque opérationnel d'une société se mesure aux effets sur sa valeur actuelle dus à des changements dans les flux de trésorerie futurs, eux-mêmes provoqués par les variations inattendues des taux de change réels (Eiteman et al. 2004). Ces effets sont induits par les changements de taux de change réels plutôt que de taux nominaux, le premier prenant en compte le taux d'inflation des deux pays considérés. Il existe plusieurs instruments pour se couvrir face à la variabilité des taux de change, comme les contrats à terme et les options financières, mais ils sont utiles seulement à court terme. Les instruments financiers à long terme pour atténuer le risque opérationnel incluent des conventions de partage des risques, les crédits parallèles (voir la section suivante) et les échanges de devises. En plus de ces instruments financiers qui sont utilisés essentiellement pour réduire les risques négatifs de change (*downside risk*), des stratégies opérationnelles peuvent être utilisées pour tirer profit des variations du taux de change en diversifiant les opérations et en exploitant la flexibilité opérationnelle du réseau de création de valeur. En fait, selon Dornier et al. (1998), l'approvisionnement global et les déplacements de production entre les pays, quand la capacité le permet, sont des stratégies clés pour améliorer la compétitivité des entreprises.

Les instruments opérationnels utilisés pour faire face au risque opérationnel des variations réelles de taux de change impliquent des décisions stratégiques autant qu'opérationnelles. Certaines politiques de flexibilité opérationnelle à court terme ont été étudiées par Kogut et Kulatilaka (1994) et Dasu et Li (1997). Par contre, relativement peu de travaux ont été faits sur

les questions stratégiques. Huchzermeier et Cohen (1996) ont proposé un cadre de planification hiérarchique pour s'attaquer à ce problème et Kouvelis (1999) a proposé une approche pour évaluer des stratégies d'approvisionnement globales basées sur un portefeuille de plusieurs fournisseurs. La flexibilité opérationnelle et les décisions stratégiques d'approvisionnement globales sont particulièrement importantes pour l'industrie canadienne des pâtes et papiers. Si on se rapporte au modèle d'optimisation présenté précédemment, la localisation des usines et les choix d'options de capacité déterminent les capacités de production et de distribution qui seront disponibles dans chaque pays. Cependant, dans son état actuel, la fonction économique de ce modèle n'inclut pas de termes permettant d'anticiper les gains potentiels liés à des investissements supplémentaires en capacité pour avoir la flexibilité de déplacer la production à court terme, ou d'entrer/sortir de certains marchés, en fonction des fluctuations des taux de change. Actuellement, le modèle suppose également que la matière première peut être fournie par n'importe quel vendeur qualifié. Cela doit être modifié pour examiner d'éventuels contrats d'approvisionnement incluant des mécanismes facilitant l'équilibre des échanges de devises. Par exemple, ces contrats pourraient incorporer diverses alternatives de partage du risque, la possibilité de payer en devise étrangère ou locale et la possibilité de devancer ou différer les paiements. L'approche à prendre pour tenir compte de ces opportunités est une question ouverte qui doit être traitée.

Planification financière

Nous avons noté dans notre analyse initiale que l'industrie des pâtes et papiers a une certaine difficulté à lever de nouveaux capitaux, parce que son rendement sur le capital utilisé est bas, et qu'elle a une flexibilité financière limitée par un ratio élevé de dettes sur capitaux propres. Tous les changements que les compagnies canadiennes de pâtes et papiers peuvent

vouloir faire à leur réseau de création de valeur risquent d'être entravés par des contraintes financières. D'un autre côté, comme les compagnies canadiennes de pâtes et papiers sont déployées dans plusieurs pays, elles peuvent accéder à des prêts étrangers ce qui, comme nous l'avons vu dans les paragraphes précédents, fournit un instrument pour atténuer le risque opérationnel. Le modèle d'optimisation classique présenté précédemment ne capture pas ces opportunités et contraintes financières importantes, car tous ces éléments sont cachés dans les coûts fixes rattachés aux installations et aux options de capacité considérées. Pour s'affranchir de cette limite, les besoins de financement de la compagnie doivent être modélisés explicitement. Pour ce faire, une approche est proposée dans Martel et al. (2005). Elle suppose qu'un certain montant doit être emprunté pour exploiter une installation ou pour implanter une option de capacité. Ce montant peut être nécessaire pour couvrir des coûts de construction, de rénovation, d'acquisition ou d'implantation, en incluant une réserve pour le fonds de roulement ou pour éponger une dette en souffrance.

Un modèle utilisant une formulation similaire a été proposé par Hodder et Dincer (1986) pour un problème de localisation simple. À l'exception de cet article, peu de travail a été fait sur l'intégration de la planification financière dans les modèles de conception de réseaux logistiques. Une bonne discussion du problème se trouve dans Shapiro (2001), mais aucun modèle n'est fourni. Aussi, le problème tel que formalisé par Martel et al. (2005) part littéralement de zéro et il suppose que la compagnie est dans une phase d'expansion de capacité. En pratique, au début de l'horizon de planification, les installations sont déjà achetées ou louées, quelques prêts à long terme sont déjà contractés et ils doivent être pris en compte. De plus, la vente d'immobilisations est une autre façon de trouver du capital, surtout s'il y a une surcapacité dans l'industrie comme c'est le cas pour le secteur des pâtes et papiers. Cela signifie que le modèle utilisé devrait tenir

compte explicitement de l'état courant de la compagnie et devrait être exprimé en termes d'éventuels changements d'états sur un horizon de planification donné.

Conclusion

Nous avons établi clairement dans ce texte que pour demeurer concurrentielle, une entreprise doit adapter périodiquement la structure de son réseau de création de valeur à la nature changeante de son environnement d'affaires et que, lorsque l'entreprise opère dans plusieurs pays, cette adaptation doit tenir compte des facteurs internationaux qui façonnent cet environnement d'affaires. Nous avons présenté une application canadienne récente qui montre que la réingénierie, même partielle, d'un réseau de création de valeur mondial peut être très bénéfique. Pour prendre en compte le contexte compétitif des compagnies canadiennes de pâtes et papiers adéquatement, nous avons insisté sur la nécessité d'étendre les modèles classiques d'optimisation de réseaux de création de valeur pour permettre l'optimisation des prix de transfert, l'anticipation des bénéfices de la flexibilité opérationnelle et la planification financière. Cependant, chacune de ces extensions augmente la complexité du modèle de façon significative. Le défi est d'arriver à un modèle de design qui peut être résolu avec les outils d'optimisation couramment disponibles et surtout qui capture l'essence du problème. C'est ce genre de défi que nous essayons de relever actuellement dans nos projets de recherche sur la conception de réseaux multinationaux de création de valeur.

Notes

1. Cette étude a été rendue possible grâce à la collaboration des partenaires du consortium de recherche FOR@C et au support financier du CRSNG, subvention # CAP 248987-01. Nous tenons aussi à remercier monsieur Michel Vincent, Directeur Économie, marchés et commerce international, Conseil de l'industrie forestière du Québec (CIFQ), pour ses commentaires sur la version préliminaire de ce texte.

2. Les données sur l'industrie canadienne des pâtes et papiers fournies dans ce texte proviennent du rapport 2005 du *Conseil des produits des pâtes et papiers* (Industrie canadienne des pâtes et papiers : Coup d'œil 2005 - http://www.pppc.org/en/publications/COUP_DOEIL-2005.pdf), de la Revue annuelle 2005 de l'Association des produits forestiers du Canada (http://www.fpac.ca/fr/resource_centre/pdfs/Publications/AnnualReview2005Fr.pdf) et des Statistiques relatives à l'industrie canadienne d'Industrie Canada (SCIAN 322 - http://strategis.ic.gc.ca/canadian_industry_statistics/cis.nsf/IDF/cis322deff.html).
3. Pour plus de détails sur les performances financières des 100 plus grandes compagnies forestières au monde, voir Price Waterhouse & Coopers, "Global Forest and Paper Industry Survey", 2005 Edition (http://www.pwcglobal.com/gx/eng/about/ind/forest/pwc_gfs_web.pdf).

Références

- Arntzen B., Brown, G., Harrison T. et Trafton L., "Global Supply Chain Management at Digital Equipment", *Interfaces*, Vol.21, No.1, pp.69-93, 1995.
- Bender, P., Northup W. et Shapiro J., Practical Modeling for Resource Management, *Harvard Business Review*, March-April, pp. 163-173, 1981.
- Bhutta K.S., "International Facility Location Decisions: A Review of the Modelling Literature", *Int. J. Integrated Supply Management*, Vol.1, No.1, 2004.
- Bhutta, K., Huq F., Frazier G. et Mohamed Z., "An Integrated Location, Production, Distribution and Investment Model for a Multinational Corporation", *IJPE*, Vol.86, pp.201-216, 2003.
- Cohen M.A., Fisher M. et Jaikumar R.V., "International Manufacturing and Distribution Networks: A Normative Model Framework", in K. Ferdows (ed), *Managing International Manufacturing*, Elsevier, pp.67-93, 1989.
- Dasu S. et Li L., "Optimal Operating Policies in the Presence of Exchange Rate Variability", *Management Science*, Vol.43, No.5, pp.705-722, 1997.
- Dornier P., Ernst, R. Fender, M. et Kouvelis P., *Global Operations and Logistics*, John Wiley & Sons Inc, Chap.9, 1998.
- Eiteman D.K., Stonehill A.I. et Moffett M.H., *Multinational Business Finance*, Pearson Addison Wesley, Chap.9, 2004.
- Everett G., Aoude S. et Philpott A., "Capital Planning in the Paper Industry using COMPASS", *ORSNZ Conference*, 2001.
- Everett G., Philpott A. et Cook G., "Capital Planning Under Uncertainty at Fletcher Challenge Canada", *ORSNZ Conference*, 2000.

- Geoffrion, A. et Graves G., Multicommodity Distribution System Design by Benders Decomposition, *Management Science*, Vol. 20, pp. 822-844, 1974.
- Goetschalckx M., Vidal C. et Dogan K., "Modeling and design of global logistics systems: A review of integrated strategic and tactical models and design algorithms", *EJOR*, Vol.143, pp.1-18, 2002.
- Haug P., "An International Location and Production Transfer Model for High Technology Multinational Enterprises", *Int. Journal of Production Research*, Vol.30, No.3, pp.559-572, 1991.
- Hodder J.E. et Dincer M.C., "A Multifactor Model for International Plant Location and Financing under Uncertainty", *Computers and Operations Research*, Vol.13, No.5, pp.601-609, 1986.
- Hodder J.E. et Jucker J.V., "International Plant Location under Price and Exchange Rate Uncertainty", *Engineering Costs and Production Economics*, Vol.9, 1985.
- Huchzermeier A. et Cohen M.A., "Valuing Operational Flexibility under Exchange Rate Risk", *Operations Research*, Vol.44, No.1, pp.100-113, 1996.
- Juslin H. et Hansen E., "Strategic Marketing in the global forest industries", Academic Press, 2002.
- Kogut B. et Kulatilaka N., "Operating Flexibility, Global Manufacturing, and the Option Value of a Multinational Network", *Management Science*, Vol.40, No.1, pp.123-139, 1994.
- Kouvelis P., "Global Sourcing Strategies under Exchange Rate Uncertainty", in: *Quantitative Models for Supply Chain Management*, Tayur S., Ganeshan R., Magazine M. (ed), Kluwer's Academic Publishers, Dordrecht, 1999.
- Martel, A., "The Design of Production-distribution Networks: A Mathematical Programming Approach", in J. Geunes et P.M. Pardalos (eds.), *Supply Chain Optimization*, Springer, pp. 265-306, 2005.
- Martel, A., M'Barek, W. et D'Amours, S., International Factors in the Design of Multinational Supply Chains: The Case of Canadian Pulp and Paper Companies, Document de travail DT-2005-AM-3, Centor, Université Laval, 2005.
- Martin, R. et Porter, M., "Canadian Competitiveness: A decade after the Crossroads", Rotman School of Management, University of Toronto, 2001.
- Mohamed Z.M., "An integrated production-distribution model for a multinational company operating under varying exchange rates", *International Journal of Production Economics*, Vol.58, pp.81-92, 1999.
- Munson C.L. et Rosenblatt M.J., "The Impact of Local Contents Rules on Global Sourcing Decisions", *Production and Operations Management*, Vol.6, No.3, pp.277-290, 1997.
- Philpott, A.B. et Everett, G.R., "Supply Chain Optimisation in the Paper Industry", *Proceedings 34th ORSNZ Conference, Hamilton NZ*, 1999.

- Pomper, C.L., *International Investment Planning: An Integrated Approach*, North Holland Publishing Company, Amsterdam, pp.98-124, 1976.
- Ridlehoover, J., "Applying Monte Carlo Simulation and Risk Analysis to The Facility Location Problem", *The Engineering Economist*, Vol.49, pp.237-252, 2004.
- Santoso T., Ahmed S., Goetschalckx M. et Shapiro A., "A stochastic programming approach for supply chain network design under uncertainty", *EJOR*, Vol.167, pp.96–115, 2005.
- Shapiro, J., *Modeling the Supply Chain*, Brooks/Cole Publishing Company, 2001.
- Vidal C.J. et Goetschalckx M., "A global supply chain model with transfer pricing and transportation cost allocation", *European Journal of Operational Research*, Vol.129, pp.134-158, 2001.
- Vila D., Martel A. et Beauregard R., "Designing Logistics Networks in Divergent Process Industries: A Methodology and its Application to the Lumber Industry", à paraître dans *International Journal of Production Economics*, 2006.
- Weigel, G., "A model for Maximizing Value Creation in Pulp and Paper Mills", M.Sc Thesis, FORAC, Université Laval, Quebec, Canada, 2005.