

Bulletin

Groupe d'études et de recherche
 en analyse des décisions

GERAD

Un des nôtres est le TOP mondial!

Selon une étude réalisée par Pao-Nuan Hsieh et Pao-Long Chang parue en août dernier dans le *International Journal of Production Economics*, **Gilbert Laporte**, membre fondateur du GERAD, se classe parmi les chercheurs les plus prolifiques au monde (même premier selon certains critères) dans la catégorie production et gestion des opérations. Nous sommes très fiers de cet accomplissement par un des nôtres. Bravo Gilbert!

Une autre excellente nouvelle est le renouvellement par le Fonds québécois de la recherche sur la nature et les technologies (FQRNT) de la subvention octroyée au GERAD (2,34 millions de dollars pour les six prochaines années) dans le cadre du programme des « Regroupements stratégiques ». Le support du FQRNT est pour le Centre une marque de confiance et une motivation de la poursuite de l'excellence en recherche et en formation.

Ce numéro propose aux lecteurs des comptes rendus de treize recherches qui se sont concrétisées par des publications dans des revues de premier plan. Ce choix vise à montrer la diversité sur le plan des outils (programmation mathématique, processus stochastiques, statistiques, théorie des jeux et autres méthodes de la recherche opérationnelle) et des champs d'application (gestion des horaires, ingénierie financière, marketing, tournées de véhicules, énergie et santé).

Bonne lecture,
 Georges Zaccour

bulletin@gerad.ca

SOMMAIRE

Nouvelles brèves.....	2
OrthoMADS : une instance déterministe de MADS avec des directions orthogonales	3
La saga des trois petits octogones	4
L' obtention de l'information permettant de planifier la capacité de production	5
Tarifcation d'option sous GARCH par des méthodes d'équations aux dérivées partielles.....	6
Élaboration d' horaires de travail pour techniciens d'une entreprise de télécommunications.....	7
La complémentarité des énergies éolienne et hydrique	8
Génération de colonnes avec plans coupants pour le problème de tournées de véhicules.....	9
Arbres multivariés pour variables réponses de types différents	10
Efficience moyenne-variance dans un modèle de marché avec taux d'intérêt CIR généralisé	11
Gestion d'un parc de véhicules pour une compagnie de location de voitures	12
Orientation d'une ligne de métro dans le centre-ville historique de Séville.....	13
Produits durables et marchés multiples de produits usagés	14
Aspects computationnels des guerres des prix multimarchés.....	15



9 décembre 2008 : **Marc Fredette**, professeur adjoint au Service de l'enseignement des méthodes quantitatives de gestion à HEC Montréal, reçoit le prix pour l'excellence en pédagogie décerné à un professeur adjoint. Ce prix souligne la contribution pédagogique d'un professeur adjoint de l'École.

26 février 2009 : **Olivier Bahn** est nommé au poste de Directeur pédagogique « Énergie Asie » à HEC Montréal. Il est responsable du DESS en gestion de l'énergie en Chine ainsi que des différents programmes de formation en gestion de l'énergie pour cadres et dirigeants en Asie.

4 mars 2009 : Une équipe de trois professeurs de HEC Montréal, dont deux membres du GERAD, soit **Jean-François Cordeau**, titulaire de la Chaire de recherche du Canada en logistique et en transport, et **Gilbert Laporte**, titulaire de la Chaire de recherche du Canada en distributique, ainsi que d'un analyste du CIRRELT, **Serge Bisailon**, ont remporté le Challenge ROADEF 2009 parmi 29 équipes provenant de 15 pays.

16 avril 2009 : **Gilbert Laporte**, titulaire de la Chaire de recherche du Canada en distributique de HEC Montréal, est le lauréat du Prix Gérard-Parizeau 2009. Ce prix, assorti d'une bourse de 30 000 dollars, rend hommage à une sommité de l'histoire, de l'économie ou de la gestion.

1^{er} juin 2009 : **Marc Fredette** est nommé professeur agrégé au Service de l'enseignement des méthodes quantitatives de gestion à HEC Montréal.

1^{er} juin 2009 : **Roland Malhamé** voit son mandat de directeur du GERAD renouvelé du 1^{er} juin 2009 au 31 mai 2011.

1^{er} juin 2009 : **Michel Gamache** est nommé professeur titulaire au Département de mathématiques et de génie industriel de l'École Polytechnique de Montréal.

1^{er} juin 2009 : **François Watier** est nommé directeur des programmes de cycles supérieurs au Département de mathématiques de l'Université du Québec à Montréal.

3 juin 2009 : **Ramzi Ben-Abdallah**, étudiant au doctorat, codirigé par Michèle Breton et Hatem Ben-Hameur du Service de l'enseignement des méthodes quantitatives de gestion à HEC Montréal, a reçu le Prix Mercure de la meilleure thèse de doctorat 2008 intitulée « Essays on the Valuation of Derivatives on Long Maturity Treasury Bonds ». Le prix était assorti d'une bourse de 3 000 dollars. Le lauréat s'est distingué sur les 17 diplômés dont la thèse était admissible pour ce prix en 2008.

18 juin 2009 : Octroi d'une importante subvention de la Fondation canadienne pour l'innovation (FCI) pour la création du Laboratoire de calcul et d'exploitation de données à HEC Montréal. Ce projet a été piloté par la professeure titulaire **Michèle Breton**.

18 juin 2009 : **Gilbert Laporte**, titulaire de la Chaire de recherche du Canada en distributique, a été reçu membre honoraire de la Omega Rho Honor Society de l'Institute for Operations Research and the Management Sciences (INFORMS). Une distinction qui reconnaît l'ampleur de ses recherches en distributique et leur applicabilité dans l'industrie.

12 octobre 2009 : **Gilbert Laporte** reçoit le prix « Robert Herman Lifetime Achievement Award in Transportation Science » de la Transportation Science & Logistics Society de INFORMS. Ce prix est décerné aux deux ans par la Transportation Science & Logistics Society de INFORMS. Gilbert Laporte en est le 8^e récipiendaire.

1^{er} septembre 2009 : **Michèle Breton** est nommée directrice scientifique de l'Institut de finance mathématique de Montréal (IFM2).

2 novembre 2009 : **Michèle Breton** est élue à la Société royale du Canada.

ACTIVITÉS PASSÉES

4 et 5 décembre 2008 : Workshop on Dynamic Games in Economics, Italie

4 au 6 mai 2009 : Journées de l'optimisation 2009

14 et 15 mai 2009 : Troisième Colloque sur la théorie des jeux en marketing

14 au 17 juin 2009 : 26th International Conference on Machine Learning (ICML 2009)

18 et 19 juin 2009 : Multidisciplinary Symposium on Reinforcement Learning (MSRL 2009)

19 au 21 juin 2009 : 25th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence (UAI 2009)

19 au 21 juin 2009 : 22nd Annual Conference on Learning Theory (Colt 2009)

28 au 30 juin 2009 : Deuxième Atelier sur les jeux dynamiques en sciences de la gestion, Valladolid, Espagne

29 juin au 3 juillet 2009 : 1^{er} Atelier de Montréal sur les mathématiques idempotentes et les mathématiques tropicales

1^{er} au 3 juillet 2009 : Seventh International ISDG Workshop, Djerba, Tunisie

17 au 21 août 2009 : Troisième Atelier de résolution de problèmes industriels de Montréal

6 et 7 novembre 2009 : Atelier sur la Théorie des jeux en réseaux de distribution

CONGRÈS ET ATELIERS PRÉVUS POUR 2009-2010

10 et 11 décembre 2009 : 3^e Atelier Théorie des jeux en énergie, ressources et environnement

12 au 14 mai 2010 : École printanière sur la conception de chaînes logistiques et de réseaux de transport

19 au 24 juin 2010 : 14th International Symposium on Dynamic Games and Applications, Banff, Alberta

NOUVEAUX MEMBRES

Mehmet Gumus, Université McGill

Raf Jans, HEC Montréal

Fabrice Larribe, Université du Québec à Montréal

Adrian Vetta, Université McGill

NOUVEAU MEMBRE-ASSOCIÉ

Monia Rekik, Université Laval



OrthoMADS : une instance déterministe de MADS avec des directions orthogonales

Mark A. Abramson, Charles Audet, John E. Dennis Jr. et Sébastien Le Digabel

Ortho-MADS est un algorithme développé dans le cadre du doctorat de S. Le Digabel, sous la direction du professeur C. Audet.

Une nouvelle implémentation de la classe d'algorithmes de recherche directe sur treillis adaptifs (MADS) a été développée par les professeurs Audet et Dennis et a été présentée dans un autre article de SIOPT en 2006. MADS vise l'optimisation de fonctions typiquement représentées par des boîtes noires, c'est-à-dire sans aucune propriété exploitable. Ces fonctions peuvent être coûteuses, bruitées, faillibles, et sont la plupart du temps définies via des simulations informatiques. On rencontre ce genre de problèmes dans de nombreux domaines, tels l'ingénierie et la finance.

L'utilisation de dérivées ou d'approximations de celles-ci est exclue pour de tels problèmes, et c'est pourquoi une méthode n'utilisant que des évaluations de la fonction, comme MADS, est indiquée. Dans l'article de 2006, MADS est décrit comme une famille générique d'algorithmes, et une implémentation pratique est proposée. Celle-ci se nomme LT-MADS et est basée sur des matrices aléatoires triangulaires. Ces matrices servent à générer les directions de recherche de l'algorithme, qui, une fois normalisées, forment un ensemble dense sur la sphère unité. La démonstration de ce dernier résultat repose sur un argument probabiliste.

Ortho-MADS est une alternative à LT-MADS. Il génère aussi des directions denses, mais sans argument probabi-

liste. Pour effectuer ceci, la méthode ne construit plus les directions de recherche de façon aléatoire, mais requiert la suite quasi-aléatoire de Halton. Ainsi, la méthode n'est plus aléatoire, mais déterministe, et permet la reproductibilité des expériences, ce qui était impossible avec LT-MADS. Un paramètre lié à l'utilisation de la suite de Halton permet toutefois de varier le résultat des expériences à la manière d'une graine aléatoire. Un second avantage d'Ortho-MADS par rapport à LT-MADS est le fait que les directions de recherche sont orthogonales entre elles, ce qui permet de maximiser une certaine mesure de la couverture des directions à chaque itération.

Une preuve est apportée qu'Ortho-MADS est bien une implémentation valide de MADS, ce qui lui permet d'hériter de toutes les propriétés de convergence de MADS, basées sur le calcul non-lisse de Clarke. De plus, des tests intensifs sont effectués sur un ensemble de 45 problèmes provenant soit de la littérature, soit d'applications réelles. Ces tests montrent la dominance d'Ortho-MADS sur LT-MADS dans le cadre d'une utilisation unique de la méthode sur un problème donné. Dans le cadre d'une utilisation multiple en variant la graine aléatoire de LT-MADS ou la graine de Halton mentionnée plus haut, LT-MADS conserve un faible avantage. Étant donné que l'optimisation d'une boîte noire peut être très coûteuse, le premier cadre est le plus pertinent, et donc Ortho-MADS est jugé supérieur et est maintenant l'implémentation par défaut de MADS, à la fois dans

nos articles récents, et dans le logiciel NOMAD disponible gratuitement sur Internet (<http://www.gerad.ca/nomad>).

Nos partenaires industriels finançant nos recherches incluent Air Force Office of Scientific Research, Boeing, Consortium de recherche et d'innovation en aérospatiale au Québec, ExxonMobil, Institut de Recherche d'Hydro-Québec, Sandia National Laboratories et le Pacific Marine Environmental Laboratory. Les applications de ces travaux comprennent entre autres l'optimisation de forme d'ailes en aéronautique, le positionnement de bouées de détection de tsunamis, le positionnement de senseurs à neige en hydrologie, l'optimisation de trajectoires au décollage, le traitement de la brasque des alumineries, ainsi que la planification chirurgicale en cardiologie pédiatrique.

(*SIAM Journal on Optimization*, 20(2), 948-966, 2009)

Mark A. Abramson, Boeing, USA

Charles Audet, Département de mathématiques et de génie industriel, École Polytechnique de Montréal et GERAD

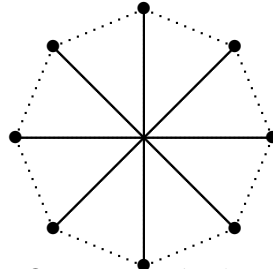
John E. Dennis Jr., Rice University, USA

Sébastien Le Digabel, Département de mathématiques et de génie industriel, École Polytechnique de Montréal et GERAD

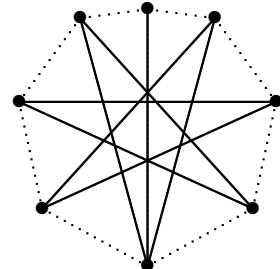
La saga des trois petits octogones

Charles Audet, Pierre Hansen et Frédéric Messine

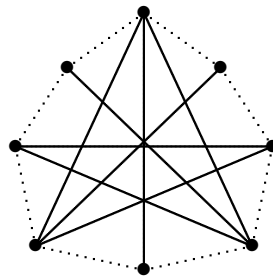
Le mensuel *Pour la Science* est une revue d'information scientifique de référence. Ce magazine propose des articles de fond sur des sujets d'actualité, ainsi que des rubriques courtes sur des sujets divertissants, polémiques ou, au contraire, plus encyclopédiques. Accessible aux lecteurs curieux de sciences qui veulent comprendre les découvertes et leurs enjeux, *Pour la Science* est aussi un magazine de référence pour les enseignants, les étudiants, les chercheurs, les médecins et les ingénieurs. (Paragraphe pris du site Web de *Pour la Science*: http://www.pourlascience.fr/ewb_pages/g/groupe-pour-la-science.php.) Il s'agit de la version française de la revue *Scientific American*.



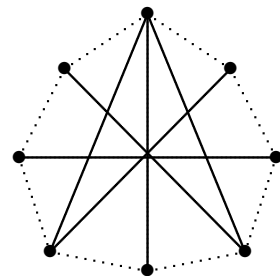
Octogone régulier
Aire ≈ 0.7071
Périmètre ≈ 3.0615



Octogone d'aire maximale
Aire ≈ 0.7269



Octogone de périmètre maximal
Périmètre ≈ 3.1211



Octogone équilatéral de périmètre maximal
Périmètre ≈ 3.0956

Dans l'article *La saga des trois petits octogones*, les auteurs vulgarisent les travaux qu'ils ont menés au cours des dix dernières années à propos de l'utilisation conjointe de raisonnements géométriques et de méthodes d'optimisation globale.

L'article étudie les *petits polygones* à n côtés et sommets, c'est-à-dire, les polygones convexes dont la longueur de la plus grande diagonale est égale à 1. L'article traite des trois questions suivantes :

1. Quel est le petit polygone de surface maximale ?
2. Quel est le petit polygone de périmètre maximal ?
3. Quel est le petit polygone équilatéral de périmètre maximal ?

Les solutions optimales ne sont pas toujours réalisées par les polygones réguliers. Le petit polygone équilatéral de surface maximale est régulier, et n'est pas étudié dans cet article.

Ces recherches débutent en 1922 avec les travaux de Karl Reinhardt, de l'Université de Frankfurt am Main, se poursuivent en 1950 grâce à l'octogone de la mystérieuse femme de Stephen Vincze (lui-même de l'Université de Budapest), reprennent vigueur en 1975 lorsque Ron Graham, de AT&T Bell Labs, découvre le petit hexagone le plus étendu et aboutissent ces dernières années par la conjonction de méthodes géométriques et d'algorithmes d'optimisation globale.

Au moment où les auteurs se sont penchés sur ces problèmes, les plus petits polygones pour lesquels ces questions demeuraient ouvertes étaient les octogones. L'article donne les solutions optimales à ces trois problèmes.

(*Pour la Science*, 380, juin 2009)

Charles Audet, Département de mathématiques et de génie industriel, École Polytechnique de Montréal et GERAD

Pierre Hansen, Service de l'enseignement des méthodes quantitatives de gestion, HEC Montréal et GERAD

Frédéric Messine, École Nationale Supérieure d'Électrotechnique, d'Électronique, d'Informatique, d'Hydraulique et des Télécommunications, France

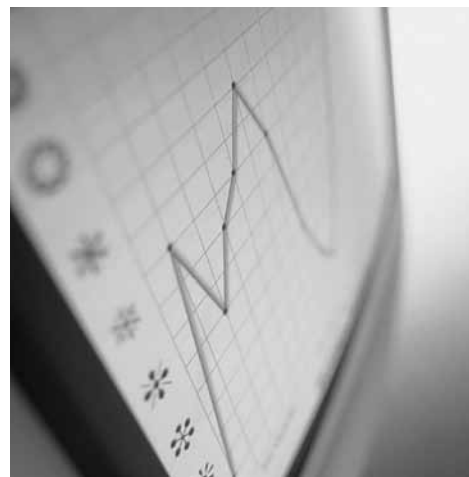
L'obtention de l'information permettant de planifier la capacité de production grâce à la fixation des prix et aux ventes hâtives : quand agir et cesser d'agir ?

Tamer Boyaci et Özalp Özer

Les investissements stratégiques dans la capacité de production nécessitent d'importantes mises de fonds irréversibles qui doivent en outre être décidées longtemps avant la réalisation des revenus. Dans un milieu marqué par les incertitudes entourant la demande, la stratégie habituelle, qui consiste à « bâtir et attendre le client » contraint le responsable de la capacité de production à prendre des risques considérables en investissant de fortes sommes dans ladite capacité. Dans le présent article, nous proposons une stratégie de rechange, qui consiste à « laisser le client se manifester avant d'augmenter la capacité de production ». Un fabricant peut adopter une telle stratégie en réalisant des ventes hâtives (à l'avance) de ses produits, incitant du coup certains consommateurs à s'engager à faire un achat avant le début de la période de ventes — et avant que la capacité de production soit en place. Ce faisant, il peut s'approprier à l'avance une part de la demande du marché et, parallèlement, atténuer de façon générale les incertitudes face à la demande. De plus, l'information que lui auront procurée ses ventes hâtives sous forme d'engagements d'acheteur peut donner au fabricant une précieuse information sur le marché potentiel de son produit et lui permettre d'organiser sa capacité de production en fonction d'une connaissance plus précise de la demande. En contrepartie, cependant, le fabricant qui attend de disposer de l'information issue de ses ventes hâtives avant d'investir dans sa capacité de production disposera peut-être de moins de temps pour augmenter sa capacité de production, ce qui pourra lui coûter plus cher. Le consommateur peut lui aussi profiter de son engagement hâtif, puisqu'il a ainsi l'assurance de disposer du produit et il se protège des risques de pénurie. Il peut aussi jouir de réductions de prix. Devant de telles compensations, l'important pour le fabricant consiste à décider de l'ampleur des ventes hâtives qu'il souhaite réaliser et, à la lumière de l'information dont ces ventes lui permettront de disposer, à voir dans quelle mesure il augmentera sa capacité de production.

Notre structure de modélisation tient compte d'un fabricant unique, qui décide du niveau de capacité de production à prévoir relativement à un produit soumis aux incertitudes d'une demande sensible aux prix. Le fabricant a la possibilité d'investir dans sa capacité avant le début de la période de ventes, l'envergure de celle-ci déterminant la quantité maximale que le fabricant pourra produire et vendre durant ladite période. Le fabricant a la possibilité d'acquérir une certaine information en effectuant des ventes hâtives avant la période de ventes. L'information en question comprendra un état cumulatif des engagements obtenus et peut-être certains autres renseignements comme

les prix perçus par le passé, ce qui permet d'évaluer à l'avance la demande dont son produit pourra encore faire l'objet. Nous présentons ces liens de façon plutôt générale, en tenant compte de divers concepts d'exploration de la demande bien connus. En tout temps, le fabricant peut cesser d'effectuer des ventes hâtives et décider de sa capacité de production. Une fois la décision prise, le traitement des clients qui restent sur le marché est reporté au début de la période de ventes habituelle. Nous nous attardons également au problème de fixation des prix auquel le fabricant est exposé. Nous étudions le cas où le fabricant fixe de façon optimale les prix demandés selon la période de ventes,



hâtive ou normale, de même que celui où la structure de prix demeure inchangée. Dans les deux situations, nous formulons le problème décisionnel du fabricant dans un programme dynamique auquel est intégrée la question du moment d'arrêt optimal. Dans l'analyse du problème, nous déterminons les politiques optimales relatives à la décision de cesser de colliger l'information sur les ventes hâtives.

Notre étude fournit des indices sur la rentabilité – ou non – de la stratégie qui amène à effectuer des ventes hâtives de façon à « laisser le client se manifester avant de construire ». Nous démontrons que les gains en bénéfices peuvent être considérables, particulièrement (i) si la demande est très incertaine; (ii) si plus de consommateurs prévoient que le marché aura du mal à assurer une production suffisante; (iii) si l'augmentation de la capacité est coûteuse et que la synchronisation avec la demande ne revêt pas une grande importance; (iv) si les engagements reçus ne permettent qu'une évaluation limitée du potentiel du marché; et (v) si le consommateur n'affiche

Tarification d'option sous GARCH par des méthodes d'équations aux dérivées partielles

Michèle Breton et Javier de Frutos

Une option est un instrument financier dont la valeur dépend d'un autre titre, appelé actif sous-jacent, et qui donne à son détenteur le droit de transiger ce titre à un prix déterminé à l'avance, à une ou plusieurs dates futures connues, jusqu'à l'échéance du contrat. La valeur d'une option dépend essentiellement de la volatilité de l'actif sous-jacent, qui détermine l'importance de possibles gains futurs en cas d'exercice. La célèbre formule de Black et Scholes permet de calculer la valeur d'une option qui ne peut être exercée qu'à l'échéance, lorsque la volatilité de l'actif sous-jacent est supposée constante.

Or, il est bien connu que les modèles de séries financières utilisant une volatilité constante, ou même une volatilité déterministe, ne sont pas bien adaptés aux observations empiriques. Les modèles autorégressifs de type GARCH, où la volatilité conditionnelle d'une série chronologique est mise à jour à partir d'observations discrètes des valeurs de la série, se sont révélés de bien meilleurs prédicteurs de la dynamique des prix de titres financiers. Cependant, même dans le cas le plus simple, l'évaluation d'options écrites sur des sous-jacents dont l'évolution est décrite par un processus de type GARCH pose des défis à la fois théoriques et numériques.

Nous proposons une approche reposant sur la solution numérique d'une équation aux dérivées partielles décrivant l'évolution de la valeur de l'option. Selon le modèle de tarification d'option, la volatilité est constante entre deux dates de mise à jour, et on impose des conditions de saut chaque fois que l'estimation de la volatilité change. Dans ce cas, il existe une solution explicite par séries de Fourier entre deux dates de mise à jour, et la valeur de l'option peut être représentée par plusieurs fonctions du temps et du prix de l'actif sous-jacent, paramétrées par la volatilité et le prix de l'actif sous-jacent à la dernière date de mise à jour.

Notre algorithme repose sur une approximation spectrale de l'équation

différentielle décrivant l'évolution du prix de l'option avec ses conditions de saut, et sur une interpolation de Fourier-Tchebychev de la fonction décrivant la valeur de l'option. Pour ce faire, nous exploitons les propriétés des séries de Fourier pour la représentation de solutions périodiques d'équations aux dérivées partielles. Ainsi, nous utilisons une extension périodique de la valeur de l'option en fonction du temps et du prix du sous-jacent, qui est suffisamment régulière pour permettre une représentation précise à partir d'un petit nombre de coefficients de Fourier. Nous utilisons

ensuite une interpolation spectrale par polynômes de Tchebychev pour obtenir la valeur de l'option en fonction de la volatilité et du prix du sous-jacent à la dernière date de mise à jour. Ainsi, la valeur de l'option (une fonction de quatre variables) est représentée par ses coefficients de Fourier et de Tchebychev.

Notre méthode est très générale et peut s'appliquer à n'importe quelle des nombreuses spécifications GARCH qui sont utilisées en pratique. Nous obtenons des résultats très précis en quelques secondes, et une convergence exponentielle par rapport au nombre de points de discrétisation.

(*Operations Research*, à paraître)

Michèle Breton, Service de l'enseignement des méthodes quantitatives de gestion, HEC Montréal et GERAD

Javier de Frutos, Universidad de Valladolid, Espagne et GERAD



Élaboration d'horaires de travail pour les techniciens d'une entreprise de télécommunications

Jean-François Cordeau, Gilbert Laporte, Federico Pasin et Stefan Ropke

En partenariat avec diverses entreprises, la Société française de recherche opérationnelle et d'aide à la décision (ROADEF) organise périodiquement des concours (challenges) portant sur le développement d'outils d'optimisation pour des problèmes industriels. Dans le cadre de ces concours qui sont ouverts à tous, les équipes inscrites sont invitées à soumettre la méthode qu'ils ont développée afin de résoudre le problème proposé. Les programmes soumis sont ensuite testés et comparés avec des données réelles provenant de l'entreprise. En juillet 2006, la ROADEF a lancé en collaboration avec l'entreprise France Télécom un concours portant sur l'optimisation des horaires de travail des techniciens affectés au développement et à l'entretien du réseau. Au total, 31 équipes se sont inscrites et 11 équipes ont été invitées à présenter leurs travaux lors du congrès annuel de la ROADEF tenu en mars 2007 à Grenoble. Selon le classement final qui a été annoncé lors de ce congrès, notre équipe a remporté ex æquo le deuxième prix.

Les horaires de travail des techniciens sont habituellement créés au jour le jour, chaque groupe de techniciens ayant un superviseur responsable de décider quels techniciens seront affectés à chaque intervention. Cette affectation doit tenir compte de plusieurs facteurs tels la nature des interventions à effectuer, les compétences de chaque technicien, les jours de congé prévus, etc. Un groupe de techniciens comporte généralement entre 20 et 60 techniciens. Il existe un large éventail d'interventions possibles requérant chacune des compétences différentes. Afin de réaliser une intervention, le superviseur doit donc dépêcher une équipe comportant suffisamment de techniciens qualifiés pour répondre aux exigences de l'intervention. Une contrainte importante du problème est que les équipes sont formées pour toute une journée et ne peuvent être changées en cours de route. Les équipes sont par contre modifiées quotidiennement afin de les adapter aux besoins des interventions à effectuer et de tenir compte des jours de congé.

Le problème traité dans le cadre de notre étude consiste à décider de l'affectation des interventions aux journées de l'horizon de planification, de l'horaire des

interventions à l'intérieur de chaque journée, de la formation des équipes pour chaque journée, et de l'affectation des interventions aux équipes. Évidemment, toutes ces décisions sont intimement liées et il est impossible de faire une bonne planification en séparant les quatre types de décision. Nous devons donc mettre au point une méthode permettant de prendre l'ensemble des décisions de manière simultanée. L'objectif poursuivi lors de cette prise de décision est de réaliser toutes les interventions prévues dans le plus court laps de temps possible.

Afin de traiter le problème dans sa globalité, nous avons développé une méthode de recherche adaptative à grand voisinage (RAGV). L'idée centrale de la RAGV consiste à utiliser des heuristiques de destruction et de réparation de solutions. Dans notre contexte, une heuristique de destruction retire une partie des interventions de la solution, tandis qu'une heuristique de réparation réinsère ces interventions différemment en ajustant les équipes en conséquence. La méthode alterne entre la destruction et la réparation de la solution. Après chaque itération, une nouvelle solution admissible est obtenue. Si cette nouvelle solution est meilleure que la

précédente, elle est automatiquement acceptée et devient la nouvelle solution de référence. Autrement, la nouvelle solution est acceptée avec une certaine probabilité dépendant de la qualité de la solution et du temps de calcul restant. Ce mécanisme permet d'échapper aux minima locaux en introduisant un élément de diversification aléatoire dans la recherche.

La méthode que nous avons mise au point est à la fois simple, rapide et efficace. Elle nous a permis de produire des solutions d'excellente qualité sur des instances de taille industrielle en des temps de calcul ne dépassant pas les 20 minutes.

(*Journal of Scheduling*, à paraître)

Jean-François Cordeau, Service de l'enseignement de la gestion des opérations et de la logistique, HEC Montréal et GERAD

Gilbert Laporte, Service de l'enseignement des méthodes quantitatives de gestion, HEC Montréal et GERAD

Federico Pasin, Service de l'enseignement de la gestion des opérations et de la logistique, HEC Montréal

Stefan Ropke, Technical University of Denmark, Danemark



La complémentarité des énergies éolienne et hydrique et la gestion des risques liés aux apports énergétiques

Michel Denault, Debbie Dupuis et Sébastien Couture-Cardinal

Le Québec jouit d'une situation énergétique enviable grâce à ses ressources hydro-électriques. La qualité de cette énergie tient à sa renouvelable abondance (190 TWh de moyenne annuelle), mais aussi à la grande flexibilité temporelle de l'hydro-électricité de réservoir. D'une part, une centrale hydro-électrique peut effectuer un changement important de son niveau de production en quelques minutes; d'autre part, les réservoirs permettent d'emmagasiner de vastes quantités d'énergie potentielle pendant de longues périodes et à faible coût. Aucun autre type de production électrique n'offre ces caractéristiques de flexibilité temporelle de façon aussi marquée. Notons aussi que si les sites les plus rentables sont déjà développés, il reste tout de même de nombreux sites de valeur dans la province.

D'un autre côté, le Québec possède aussi un énorme potentiel éolien, très peu exploité celui-là. L'électricité éolienne, si elle est (potentiellement) abondante, est cependant aux antipodes de la flexibilité hydro-électrique. La puissance générée change à chaque moment, d'une façon qu'on ne contrôle pas et qu'on a même peine à prévoir, et aucun emmagasinage n'est économiquement faisable.

La question qu'on se pose alors, face aux choix de développer des sites hydro-électriques ou une filière éolienne, est la suivante : quel avantage comparatif l'éolien peut-il avoir face à l'hydro-électricité? Ses *désavantages* comparatifs ont été déjà étudiés, essentiellement en termes d'équilibrage de la puissance, l'hydro supplantant aux carences de l'éolien. En fait, hormis les considérations écologiques, le principal défaut de l'hydro-électricité vient de son intrant : l'eau. Précisément, il s'agit de la constance des apports d'eau : deux ou trois années plus sèches qu'à l'habitude, les réservoirs se vident et on n'y peut rien.

L'idée de départ de l'article était donc de vérifier l'hypothèse qu'on peut atténuer le risque d'un déficit énergétique sur un horizon assez long, un an par exem-

ple, par une diversification des intrants énergétiques. Est-ce qu'un système de production « hydro+éolien » procure un apport énergétique plus stable dans le temps, qu'un système purement hydrique?

Pour répondre à cette question, nous avons modélisé conjointement les apports hydriques et éoliens annuels sur la période de 1958 à 2003. Nous avons ensuite simulé la production de systèmes comprenant diverses proportions de production hydrique et éolienne.

Un premier constat statistique est que les apports hydriques et éoliens ont suivi deux longs cycles d'environ vingt ans, durant lesquels les apports annuels sont presque toujours au-dessus de la moyenne générale, puis au-dessous de la moyenne. Deuxième constat, les cycles en question correspondent de façon étonnante : périodes fastes en eau et en vent, puis maigres en eau et en vent, la tendance s'inversant vers 1983 tant pour l'un que pour l'autre.

(*Energy Policy*, 37, 5376-5384, 2009)

Michel Denault, Service de l'enseignement des méthodes quantitatives de gestion, HEC Montréal et GERAD

Debbie Dupuis, Service de l'enseignement des méthodes quantitatives de gestion, HEC Montréal et GERAD

Sébastien Couture-Cardinal, Gestion du risque, Banque Nationale du Canada



Génération de colonnes avec plans coupants pour le problème de tournées de véhicules avec fenêtres de temps et livraisons partagées

Guy Desaulniers

Presqu'à chaque jour, les compagnies de distribution ou de collecte de marchandises font face à des problèmes de tournées de véhicules (aussi appelées routes de véhicules). Le but de ces problèmes est de déterminer des routes de véhicules afin de desservir un ensemble de clients à moindre coût tout en satisfaisant des contraintes opérationnelles telles que la capacité des véhicules et des fenêtres de temps qui restreignent les heures de visite à chaque client. Dans la plupart des variantes du problème, un client doit être desservi par un seul véhicule. Cependant, lorsque les demandes des clients sont relativement grandes par rapport à la capacité d'un véhicule, des économies substantielles peuvent être réalisées en permettant plusieurs visites par client. L'élaboration de tournées de véhicules avec livraisons partagées s'intéresse à cette relaxation.

Le problème de tournées de véhicules avec fenêtres de temps et livraisons partagées a été peu étudié dans la littérature : avant ce travail, seulement deux heuristiques et une méthode exacte de type « branch-and-price » (BP) ont été proposées. Présentement, BP est la meilleure méthodologie pour résoudre différents types de problèmes de tournées de véhicules et d'horaires d'équipages avec contraintes de ressources telles que les fenêtres de temps. Cette méthode est, en fait, une méthode d'énumération implicite (branch-and-bound) dans laquelle les bornes inférieures sont calculées par génération de colonnes. Une méthode de génération de colonnes



décompose le problème en un problème maître linéaire et un sous-problème, et résout itérativement chacun de ces deux problèmes. Pour obtenir des temps de résolution peu élevés, cette méthode doit utiliser un algorithme efficace pour résoudre le sous-problème. Dans la méthode BP existante, le sous-problème correspond à un problème de plus court chemin élémentaire avec contraintes de ressources. Ce sous-problème détermine seulement des routes de véhicules. La quantité à livrer à chaque client visité dans une route est calculée dans le problème maître, ce qui nécessite un nombre exponentiel de contraintes.

Nous proposons une nouvelle décomposition du problème, menant à un sous-problème de nature différente qui identifie routes et quantités à livrer. Ce sous-problème combine un problème de plus court chemin élémentaire avec contraintes de ressources et la relaxation linéaire d'un problème de sac à dos. Ainsi, une colonne engendrée par le sous-problème correspond à une route et un patron de livraison dans lequel certains clients reçoivent une livraison complète (égale à la demande du client), au plus un client reçoit une livraison partielle (positive mais inférieure à sa demande) et les autres reçoivent une livraison nulle.

Cette structure de patron provient de la solution de la relaxation linéaire d'un problème de sac à dos. En exploitant cette structure, l'auteur développe un algorithme d'étiquetage spécialisé pour résoudre le sous-problème. Comme clairement mis en évidence par le processus de décomposition, les contraintes d'intégralité ne sont pas imposées sur les variables générées, mais plutôt sur des combinaisons convexes des variables. Ces combinaisons convexes permettent d'obtenir des routes avec plusieurs livraisons partielles dans une solution entière. La méthode BP complète inclut des décisions de branchement spécialisées et la génération de plans coupants.

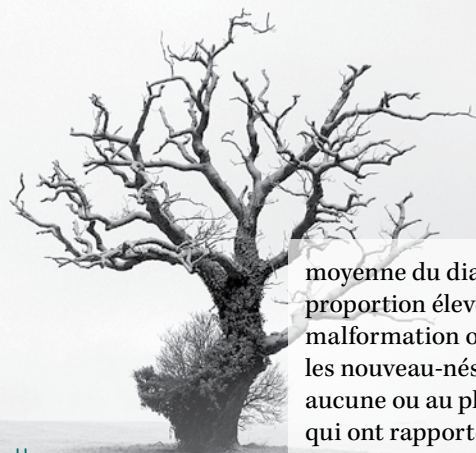
La méthode proposée a été testée sur un ensemble de 504 jeux de données, impliquant 25, 50 ou 100 clients. Elle a réussi à résoudre à l'optimalité 176 de ces exemplaires du problème en moins d'une heure de temps de calcul. Antérieurement, seulement 27 de ces exemplaires avaient été résolus dans la littérature. Ces résultats montrent clairement l'efficacité du nouvel algorithme de type BP.

(*Operations Research*, à paraître)

Guy Desaulniers, Département de mathématiques et de génie industriel, École Polytechnique de Montréal et GERAD

Arbres multivariés pour variables réponses de types différents

Abdessamad Dine, Denis Larocque et François Bellavance



Les arbres de classification ou de régression sont bien appréciés des praticiens car ils produisent des règles simples et faciles à interpréter pour expliquer un résultat. Un algorithme d'arbre utilise les variables explicatives disponibles pour diviser l'ensemble des données récursivement dans des nœuds aussi homogènes que possible par rapport à la variable réponse. Les algorithmes d'arbres standards peuvent être utilisés pour modéliser des variables réponses continues ou catégorielles.

Dans la majorité des projets de recherche en sciences sociales, administratives, biologiques ou médicales, plusieurs variables réponses sont observées pour chaque unité expérimentale. Récemment, des généralisations de méthodes d'arbre aux cas de variables réponses multiples sont apparues dans la littérature, mais elles sont limitées aux cas où les variables réponses sont toutes du même type (continue, dénombrement, binaire, ordinal ou catégoriel avec plusieurs catégories). Toutefois, il est fréquent d'observer plusieurs variables réponses de types différents. Par exemple, l'état de santé d'un individu est complexe et difficilement mesurable avec un seul résultat; le diamètre ou la circonférence de la tête (variable continue), la présence ou non d'une malformation mineure ou majeure (variable binaire), et la présence ou non d'un retard de croissance (variable binaire) sont des variables généralement utilisées pour évaluer le développement et l'état de santé d'un nouveau-né.

Il est évidemment possible de construire autant d'arbres univariés qu'il y a de

variables réponses d'intérêts. Mais cette façon de procéder va mener à différents ensembles de règles de décisions et la structure générale des modèles peut devenir difficile à interpréter. La parcimonie d'un seul arbre pour l'ensemble des variables réponses est donc intéressante d'un point de vue exploratoire. La motivation de ce travail est de développer une méthode pour construire un arbre multivarié pour un mélange de variables réponses continues et catégorielles. La méthode proposée est basée sur la fonction log vraisemblance qui combine les fonctions log vraisemblances des variables réponses continues et catégorielles respectivement. Cette méthode devient équivalente aux méthodes bien établies de construction d'arbres lorsqu'une seule variable réponse de type continue ou catégorielle est considérée. À notre connaissance, c'est la première méthode proposée dans la littérature pour construire un arbre de classification et de régression multivarié pour un mélange de différents types de variables réponses.

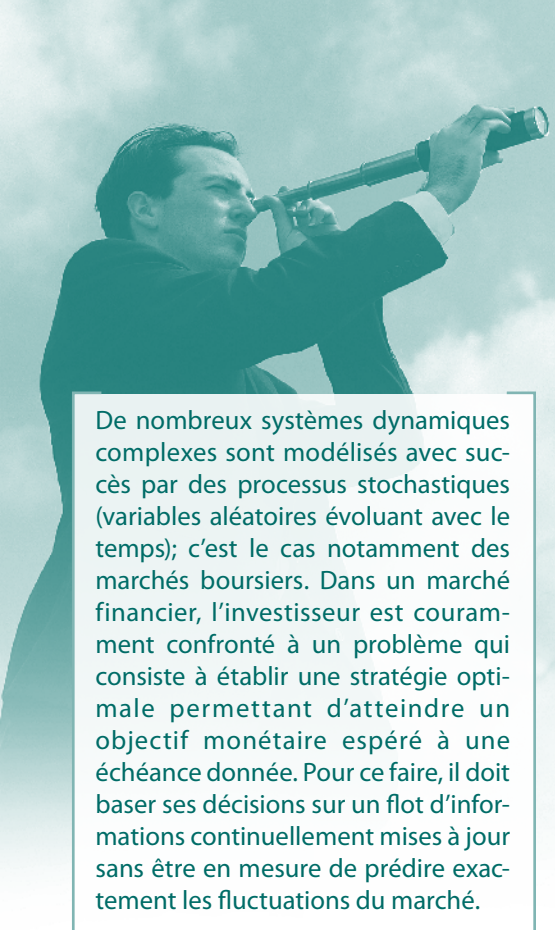
Deux exemples sont présentés pour illustrer la méthode proposée. Le premier exemple traite de l'effet d'une crise d'épilepsie, de l'utilisation de médicaments antiépileptiques, d'alcool, de cigarettes, de cocaïne et autres drogues illicites pendant la grossesse sur l'état de santé des nouveau-nés tel qu'évalué par le diamètre de la tête et la présence ou non d'une malformation ou d'un retard de croissance. L'arbre multivarié obtenu a quatre nœuds terminaux : dans l'échantillon, le groupe de mères qui ont eu deux crises d'épilepsie pendant leur grossesse ont donné naissance à des bébés avec la plus petite

moyenne du diamètre de la tête et une proportion élevée de ces bébés avait une malformation ou un retard de croissance; les nouveau-nés des mères qui ont eu aucune ou au plus une crise d'épilepsie et qui ont rapporté avoir pris de la cocaïne ou au moins une autre drogue illicite durant leur grossesse, ont eu le plus haut taux de malformation ou retard de croissance et une petite moyenne du diamètre de la tête; les mères qui ont eu aucune ou tout au plus une crise d'épilepsie et n'ont pas rapporté utiliser de drogue illicite mais qui fumaient, ont eu des bébés avec un diamètre de la tête légèrement en dessous de la moyenne et une proportion relativement élevée d'entre eux ont eu une malformation ou un retard de croissance; finalement, les mères qui ont eu aucune ou une crise d'épilepsie, n'ont pas rapporté l'utilisation de drogue illicite et de cigarette, ont eu en moyenne des bébés avec le meilleur état santé dans l'échantillon, c'est-à-dire avec la plus grande moyenne du diamètre de la tête et la plus petite proportion de malformation ou retard de croissance.

Le deuxième exemple explore l'utilisation des services de santé par les personnes âgées après une visite à l'urgence d'un hôpital. Trois variables réponses sont modélisées : dans la période de 30 jours après leur visite à l'urgence, le nombre de visites chez le médecin, un retour ou non à l'urgence d'un hôpital et la présence ou non d'une hospitalisation. Vingt-et-une variables explicatives sont considérées pour la construction de l'arbre, dix-huit concernent les caractéristiques des patients et les trois autres décrivent les caractéristiques de l'urgence. Le modèle d'arbre retenu a 31 nœuds terminaux. Les trois premiers niveaux de l'arbre sont présentés dans l'article.

(*Computational Statistics and Data Analysis*, 53, 3795-3804, 2009)

Abdessamad Dine, Denis Larocque, François Bellavance, Service de l'enseignement des méthodes quantitatives de gestion, HEC Montréal et GERAD



Efficiences **moyenne-variance** dans un modèle de marché avec taux d'intérêt CIR généralisé

René Ferland et François Watier

De nombreux systèmes dynamiques complexes sont modélisés avec succès par des processus stochastiques (variables aléatoires évoluant avec le temps); c'est le cas notamment des marchés boursiers. Dans un marché financier, l'investisseur est couramment confronté à un problème qui consiste à établir une stratégie optimale permettant d'atteindre un objectif monétaire espéré à une échéance donnée. Pour ce faire, il doit baser ses décisions sur un flot d'informations continuellement mises à jour sans être en mesure de prédire exactement les fluctuations du marché.

Parmi ces problèmes, le plus connu est fort probablement le problème d'optimisation stochastique dit « moyenne-variance », soit une échéance d'investissement donnée et un objectif d'atteinte d'une richesse terminale moyenne ciblée; il s'agit alors de trouver une stratégie de placement permettant de minimiser la variance (mesure de variations autour de la moyenne) de cette richesse. Sous sa forme originale (à temps discret avec une seule période d'investissement), ce problème remonte à un article fondamental de H.M. Markowitz (1952) et est souvent considéré comme la pierre angulaire de la finance moderne en ce qui a trait à la gestion de portefeuilles. Ces travaux furent d'ailleurs récompensés par un prix Nobel d'économie dans les années 70.

Depuis, le problème a beaucoup évolué, notamment par une modélisation des marchés en temps continu par le biais d'équations différentielles stochastiques. Dans un marché où un individu peut investir soit dans un titre non risqué (ex. : compte en banque), soit dans des titres risqués (ex. : actions en bourse) et en utilisant le mouvement brownien

comme principale source de composantes aléatoires, un bon nombre d'auteurs sont parvenus à établir des stratégies optimales.

Compte tenu des techniques utilisées à l'époque, plusieurs chercheurs ont dû se restreindre à des cas où soit le taux d'intérêt est de nature déterministe (fluctuations prévues à l'avance), soit aléatoire mais avec une hypothèse de bornitude uniforme (plafond). Malheureusement, ces restrictions excluent l'utilisation d'un certain nombre de modèles de taux d'intérêt stochastiques qui sont primés par les praticiens (tels que ceux de Vasicek, Hull-White, Cox-Ingersoll-Ross (CIR), ...). Dans le but notamment de surmonter cet obstacle, des auteurs ont intégré dans leur modèle la possibilité de vendre ou d'acheter des obligations à terme (zéro-coupons). Il s'agit d'un instrument financier qui garantit à son détenteur, au moment de l'achat, un montant fixe prédéterminé à une échéance future donnée. Un premier résultat en ce sens se retrouve dans un article de Besnainou et Portrait (1998) où le taux d'intérêt privilégié est le modèle de Vasicek. Cependant, ce modèle de taux peut engendrer des taux d'intérêt négatifs, ce qui n'est pas souhaitable. Quelques années plus tard, Deelstra et al. (2000) considèrent plutôt le modèle CIR classique qui, lui, génère des taux positifs. Bien que leur problème à la base soit celui de la maximisation de l'utilité espérée, il serait envisageable d'adapter leur méthodologie pour résoudre un problème moyenne-variance.

Enfin, le taux d'intérêt CIR classique est un modèle à seulement trois paramètres constants; or des travaux tels que ceux de Maghsoodi (2000) sur l'étude des bons du trésor américain sur une période de 25 ans suggèrent plutôt d'utiliser un modèle CIR généralisé (c'est-à-dire un modèle où les trois paramètres sont remplacés par des fonctions évoluant dans le temps) afin de mieux reproduire les fluctuations réelles du taux d'intérêt dans les marchés financiers. C'est dans cet esprit que nous avons poursuivi nos recherches. Empruntant des notions de la théorie linéaire quadratique stochastique (stochastic LQ theory) en contrôle optimal, nous sommes parvenus à obtenir une stratégie sous forme explicite en réduisant le problème d'optimisation stochastique à la simple résolution de deux équations différentielles ordinaires de type Riccati, celles-ci se résolvant aisément par des méthodes numériques.

Nous espérons que les résultats obtenus à ce jour permettront l'élaboration de nouveaux outils d'analyse de décisions plus performants dans le domaine de la gestion de portefeuilles.

(Applied Stochastic Models in Business and Industry, à paraître)

René Ferland, Département de mathématiques, Université du Québec à Montréal

François Watier, Département de mathématiques, Université du Québec à Montréal et GERAD

Gestion d'un parc de véhicules pour une compagnie de **location de voitures**, avec contraintes de maintenance

Alain Hertz, David Schindl et Nicolas Zufferey

Le sujet du challenge ROADEF'99 a été un problème de gestion du parc de véhicules pour une compagnie de location de voitures. Le problème consiste à satisfaire les demandes des clients à l'aide de la flotte de véhicules disponibles. La compagnie reçoit des requêtes de ses clients qui désirent louer des voitures pour une durée déterminée. Chaque demande est caractérisée par les types de véhicule souhaités et la période de location. Toutes les requêtes sont supposées connues pour un horizon pouvant aller de quelques semaines à quelques mois. La satisfaction des demandes est obligatoire.

Lorsque la compagnie ne possède pas suffisamment de véhicules à certaines périodes, elle peut réagir de trois façons différentes :

- elle peut offrir à certains clients des voitures de type supérieur au type souhaité. En général la compagnie offre alors des voitures plus confortables ou plus chères à la location. Le client est facturé bien entendu selon le tarif correspondant à sa requête, et c'est la compagnie qui doit payer la différence;
- la compagnie peut décider de sous-traiter certaines requêtes à d'autres entreprises de location de voitures, ce qui représente en général une alternative très coûteuse;
- la troisième possibilité consiste à acheter de nouvelles voitures pour élargir le parc de véhicules à disposition.

Chacune de ces trois possibilités a un coût qu'on peut mesurer et le problème

à résoudre consiste à satisfaire toutes les demandes des clients avec un coût minimum. Le problème est compliqué davantage par le fait que les voitures doivent être entretenues à intervalles réguliers. Chaque entretien est caractérisé par une durée et le nombre d'employés requis pour ce travail. La compagnie ne dispose que d'un nombre limité de tels employés, ce qui signifie que les entretiens doivent être planifiés sans dépasser la capacité de l'atelier de maintenance.

La littérature qui traite des problèmes liés à la location de voitures s'intéresse principalement à la gestion du rendement et aux systèmes de contrôle de la flotte de véhicules. Fink et Reinert ont récemment proposé un modèle et un algorithme de résolution permettant de prendre des décisions à court terme sur les réaffectations des voitures dans les différentes succursales d'une compagnie pour tenir compte des demandes fluctuantes des clients. Nos travaux viennent compléter ces développements en proposant des outils d'optimisation pour l'affectation des voitures aux clients, en tenant compte des contraintes de maintenance des véhicules.

Treize compétiteurs ont pris part au challenge ROADEF'99, chacun ayant développé une heuristique pour résoudre ce problème. De notre côté, nous avons mis au point une technique de résolution qui combine des procédures d'optimisation dans les graphes (problèmes de coloration minimale et de stable de poids maximum) avec la résolution de problèmes de programmation mathématique en nombres entiers et l'utilisation de deux

algorithmes de type Tabou. Des expériences réalisées sur des données réelles démontrent clairement que notre algorithme est meilleur que toutes les autres méthodes existantes.

(*Journal of Heuristics*, 15, 425-450, 2009)

Alain Hertz, Département de mathématiques et de génie industriel, École Polytechnique de Montréal et GERAD

David Schindl, Haute École de Gestion de Genève, Suisse

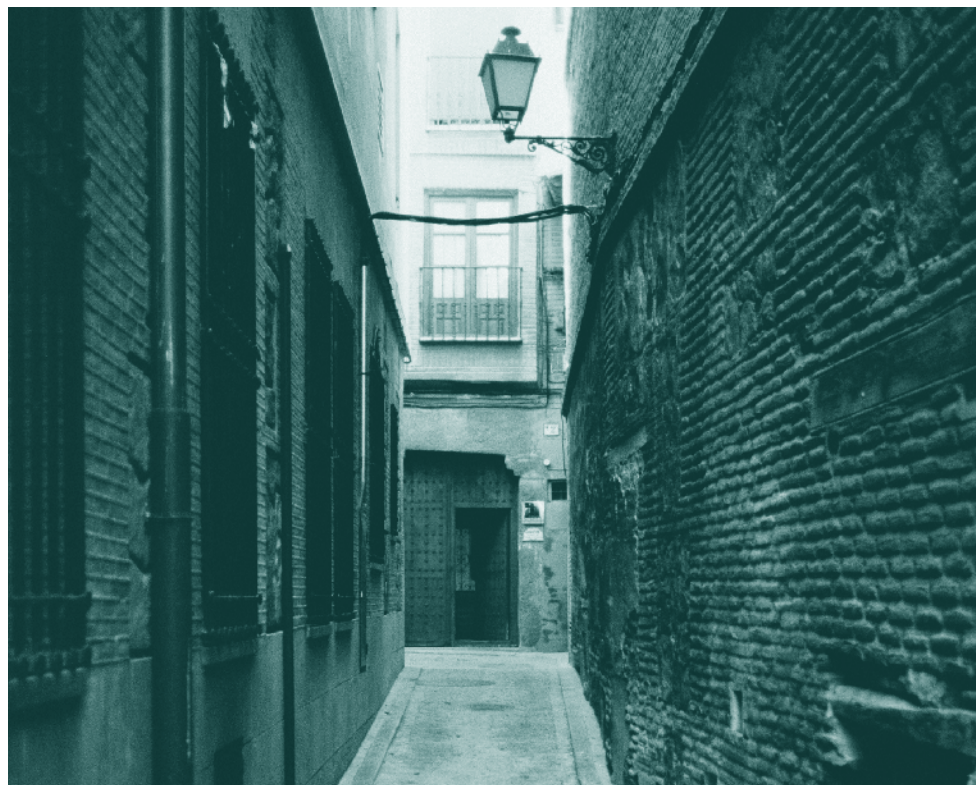
Nicolas Zufferey, Université de Genève, Suisse et GERAD



Orientation d'une **ligne de métro** dans un centre-ville historique, application à Séville

Gilbert Laporte, Juan Antonio Mesa, Francisco A. Ortega et Miguel Ángel Pozo

Lorsqu'on aménage une ligne de métro sous un centre-ville historique, il est important de se tenir loin des bâtiments historiques ou patrimoniaux. Ce faisant, on cherche d'abord à éviter de creuser trop près des bâtiments en question afin de limiter les risques d'en affaiblir les assises, étant donné que ce genre de travaux entraîne souvent des glissements de terrain. Il est également préférable de construire les lignes de métro loin des bâtiments fragiles, afin de réduire l'effet des vibrations. L'ajout de telles considérations au travail de conception oblige celui-ci à retenir un motif circconvolutif et augmente les coûts de construction. Il devient donc intéressant de voir comment on peut produire des tracés non linéaires sans trop dévier de celui qui est le plus direct.



Le sujet a récemment été porté à l'étude par Gilbert Laporte, en collaboration avec Juan Antonio Mesa, Francisco Ortega et Gema Luis y Miguel Ángel Pozo. Les auteurs ont étudié l'emplacement de la ligne 2, à Séville, entre la gare d'autobus de Plaza de Armas (point A) et la gare ferroviaire Santa Justa (point B). La totalité de cette portion du circuit passe sous le quartier historique de Séville, et la présence de rues très étroites y rend toute excavation impossible. La difficulté consiste donc à concevoir un tracé liant le point A au point B qui reste aussi court que possible, tout en respectant un rayon de sécurité de 80 m en périphérie de chacun des quelque 75 édifices classés.

La méthodologie retenue pour régler le problème est assez simple. On a démontré que, si l'on élaborait un diagramme

de Voronoï autour des bâtiments, tout tracé se trouvant aussi loin que possible de chacun des bâtiments suivrait certaines des cellules du diagramme. À l'étape préparatoire, on peut d'abord éliminer toute cellule se trouvant à moins de 80 m d'un des bâtiments. On calcule ensuite le tracé le plus court entre les points A et B en se servant des cellules qui subsistent. On élimine ensuite la cellule qui se trouve le plus près d'un bâtiment, puis on répète l'opération jusqu'à ce qu'aucun autre tracé ne soit possible. Ce procédé procure aux décideurs diverses solutions différant par leur longueur et leur proximité des bâtiments historiques. Le calcul peut se faire en une fraction de seconde.

La méthode a permis de traiter avec succès un ensemble de données fournies par

la Ville de Séville. En juillet 2008, le journal espagnol ABC a consacré la totalité de sa page 2 au problème et à sa solution.

(*Journal of the Operational Research Society*, 60, 1462-1466, 2009)

Gilbert Laporte, Service de l'enseignement des méthodes quantitatives de gestion, HEC Montréal et GERAD

Juan Antonio Mesa, Departamento de Matemática Aplicada II, Escuela Técnica Superior de Ingenieros, Universidad de Sevilla, Espagne

Francisco A. Ortega, Miguel Ángel Pozo, Departamento de Matemática Aplicada I, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad de Sevilla, Espagne

Produits durables et marchés multiples de produits usagés : implications sur la tarification

Saibal Ray, Shuya Yin, Haresh Gurnani et Animesh Animesh

Dans cet article, les auteurs se penchent sur les répercussions (potentielles) de la récente popularité du marché de personne à personne (P2P), sur la stratégie de mise à niveau des produits des fabricants et la stratégie de prix des détaillants. Ce faisant, ils ont répondu à une question qui intéresse bon nombre d'universitaires : pourquoi publie-t-on si souvent de nouvelles éditions des manuels scolaires de niveau postsecondaire et pourquoi leur prix augmente-t-il si rapidement ?

Le commerce électronique de personne à personne ou P2P — c'est-à-dire celui où les consommateurs se vendent et achètent entre eux des articles d'occasion comme dans le cas d'e-Bay et d'Amazon.com — gagne rapidement en popularité. Le phénomène touche particulièrement le domaine des biens durables, dont les

manuels scolaires et les jeux vidéo, pour lesquels existe depuis déjà un certain temps un marché d'occasion desservi de façon commerciale (p. ex. : manuels scolaires dans les librairies de campus, chaîne GameStop spécialisée en jeux vidéo). Fait intéressant, le marché de ces articles d'occasion diffère considérablement selon qu'on se tourne vers un commerce de détail ou vers la vente de personne à personne. Chez le détaillant, celui-ci décide formellement du prix de revente en ajoutant une marge bénéficiaire appropriée à son prix de rachat. De son côté, le commerce de personne à personne se fait de façon assez souple, le prix y étant essentiellement établi en fonction du nombre d'articles d'occasion en circulation. L'évaluation du prix des produits d'occasion faite par le consommateur varie aussi habituellement entre les deux marchés. Les auteurs se sont attardés aux effets de l'ajout successif (au marché primaire de produits neufs) de ces deux

marchés de revente — d'abord le détail, puis le commerce de personne à personne — sur la fréquence des mises à niveau du produit et sur l'établissement de leur prix de détail, au fil du temps.

Les produits durables comme les manuels scolaires de niveau postsecondaire et les jeux vidéo ont récemment suscité beaucoup d'intérêt, étant donné l'augmentation de leurs prix au détail et la fréquence à laquelle ils font l'objet de mises à niveau. Le prix de détail des jeux vidéo a augmenté en moyenne de 50 % en six ans, passant de 40 \$ en 2002 à 60 \$ en 2008. Quant aux manuels scolaires neufs de niveau postsecondaire, leur augmentation de prix correspond au double du taux d'inflation entre 1987 et 2004 — soit de 6 % comparativement à 3 % par année (le prix des manuels scolaires a presque triplé au cours de cette période), et la fréquence de publication de nouvelles éditions a également augmenté, passant du 4 à 5 ans au 3 à 4 ans. On accuse généralement le rachat au détail (p. ex. : les commerces de détail de produits d'occasion) d'être responsable de la situation. On croit en effet que les éditeurs lanceraient fréquemment des versions modifiées afin d'atténuer la valeur du produit d'occasion racheté par un détaillant. Les coûts liés à l'élaboration des nouvelles versions donneraient ensuite lieu à une augmentation des prix.

Pour jeter la lumière sur le rôle du nombre croissant de marchés de revente, les auteurs traitent de ce qui suit :

- S'il constituait la principale source d'articles d'occasion, comment le marché de la revente géré par des commerces de détail agirait-il sur la stratégie de mise à niveau des fabricants et sur l'augmentation des prix de détail du produit neuf (à la longue) ?



Aspects computationnels des guerres des prix multimarchés

Nithum Thain et Adrian Vetta

Les cartels ne sont pas les seuls à adopter des pratiques anticoncurrentielles. Comme les exemples précédents l'illustrent, ils y étaient souvent associés. D'ailleurs, c'est en réaction à ce que l'on estimait être des abus de la part de cartels que des lois antitrust (ou lois sur la concurrence) ont été édictées partout dans le monde afin d'interdire les pratiques anticoncurrentielles. À cet égard, la loi la plus importante est sans contredit la *Sherman Antitrust Act* de 1890. Cette loi a été appliquée en 1911 pour démanteler ce qui fut sans doute le plus odieux de tous les cartels : celui du groupe pétrolier Standard Oil, alors dirigé par John D. Rockefeller. Plus récemment, cette même loi a mené au démantèlement de l'American Telephone and Telegraph (AT&T) en 1982.

En conséquence, on ne peut étudier le phénomène des pratiques anticoncurrentielles sans s'attarder tant à ses aspects économiques que juridiques. Les deux sont en effet reliés de près; la législation actuelle (aux États-Unis) se fonde sur les premiers travaux d'économie de McGee (1958), qui évoquait le manque de rationalité du recours aux prix d'éviction. En conséquence, la Cour suprême américaine estime désormais que les prix d'éviction sont généralement déraisonnables et elle applique de façon stricte les conditions suivantes pour évaluer la présence de pratiques anticoncurrentielles : (i) l'instigateur de pratiques anticoncurrentielles fixe des prix inférieurs à son coût de production à court terme et (ii) il a de fortes chances de récupérer les pertes subies au cours de sa guerre des prix. De façon générale, le tribunal évalue la première condition en s'appuyant sur le critère Areeda-Turner (1975), qui calcule le prix marginal (ou, comme substitut comparable, les coûts variables moyens)

Les guerres des prix et les prix d'éviction sont des tactiques mises en pratique par certaines entreprises pour accroître leurs parts de marché et en évincer la concurrence (diminution de la compétition) ou pour dissuader des concurrents potentiels d'entrer sur le marché (effet dissuasif envers le nouvel entrant). Compte tenu des avantages dont peut jouir l'entreprise qui engage de telles actions de prédation, il n'est pas étonnant de les voir revenir périodiquement au programme. À la fin du XIX^e siècle, par exemple, on a vu les cartels d'une profusion de secteurs se livrer à une telle prédation. À ce sujet, il suffira de rappeler le recours, par les associations d'armateurs britanniques, aux « navires de combat » devant leur permettre de rester maîtres des routes de commerce, et la mise en place de sociétés indépendantes fictives par l'American Tobacco Company, en vue de couper l'herbe sous le pied à ses petits concurrents.

comme principal signe de pratique anticoncurrentielle.

Évidemment, compte tenu de l'envergure économique du problème et de l'importance sociale et politique de bon nombre des entreprises en cause, on a étudié en profondeur les aspects tant économiques que juridiques des pratiques anticoncurrentielles. Le présent article vise à faire ressortir un élément moins facile à cerner, soit la complexité de la prise de décisions (juridiques) par ceux qui voudraient engager des pratiques anticoncurrentielles.

Nous présentons d'abord des extensions multimarchés de la structure d'oligopole classique selon Bertrand, Cournot et Stackelberg. Ces modèles multimarchés nous permettent de nous pencher sur un ensemble d'interactions plus vaste et plus réaliste entre les entreprises. Nous jumelons ces modèles aux caractéristiques juridiques nécessaires en ne permettant que les stratégies qui satisfont au critère Areeda-Turner. La deuxième exigence juridique prévoit essentiellement que « les pertes à court terme constituent un investissement dans des bénéfices potentiels (monopole) », ce qui est implicite dans tous nos modèles.

Nous formulons ensuite un problème qui présente de façon générale les situations d'entrée/dissuasion et de diminution de la concurrence. Plus précisément, nous nous attardons au budget que doit prévoir une entreprise pour réussir la guerre des

prix qu'elle enclenche. Autrement dit, quelle est l'envergure du budget nécessaire pour qu'une entreprise puisse faire état d'une stratégie légale où les pertes à court terme subies durant une guerre des prix sont compensées par les bénéfices qui en résulteront ? Nous étudions ensuite la complexité computationnelle de ce que nous appelons le « problème de minimisation du trésor de guerre ». Pour ce qui est des désavantages, nous démontrons que, même en disposant de l'information complète, il est difficile d'obtenir une approximation multiplicative du problème. De plus, des résultats de complexité sont inchangés dans les cas non complexes de fonctions de demande et de coûts linéaires. D'un autre côté, nous proposons des algorithmes avec approximations additives dans le cas des modèles multimarchés à la Bertrand et Stackelberg associés à une demande linéaire et une fonction de coût. De plus, en l'absence de coûts fixes, le problème peut être résolu en temps polynômial quel que soit notre modèle.

(Présentation au 5th Workshop on Internet and Network Economics (WINE), Rome, décembre 2009)

Nithum Thain, Département de mathématiques et statistique, Université McGill

Adrian Vetta, Département de mathématiques et statistique et École d'informatique, Université McGill et GERAD

- Dans quelle mesure l'arrivée d'un deuxième marché de revente (le commerce de personne à personne) touche-t-elle la mise à niveau des produits en question et les décisions liées à leur prix de détail (et aux bénéfices du canal de distribution)?

Pour répondre à ces questions, les auteurs font l'analyse et la comparaison de trois scénarios : absence de marché de la revente, marché de la revente géré exclusivement par des commerces de détail et marché du commerce de personne à personne. Le marché primaire qui assure la vente des produits neufs a place dans les trois scénarios.

Le constat le plus important de l'article tient au fait que les répercussions du marché de la revente (personne à personne) sur les décisions importantes du réseau (mise à niveau du produit et prix de détail) vont presque dans le sens contraire de ce qui se passe sur le marché primaire (détail). Lorsqu'un détaillant ouvre un nouveau marché d'articles d'occasion en faisant des rachats, sa démarche se trouve en fait à *réduire l'incitation* du fabricant à procéder à des mises à niveau fréquentes, en plus de *réduire* l'ampleur de l'augmentation du prix de détail du produit neuf au fil du temps. D'un autre côté, la récente émergence du commerce de personne à personne comme deuxième source d'ap-

visionnement en produits d'occasion *encourage* effectivement le fabricant à faire des mises à niveau fréquentes, en plus de *généralement amplifier* l'augmentation temporelle du prix de détail des produits neufs. Ces deux effets contraires sont assez constants; ils restent vrais, peu importe que le consommateur final ait tendance à penser à court ou à long terme. De plus, des données issues du secteur du manuel scolaire postsecondaire soutiennent le constat quant aux effets de l'arrivée du commerce de personne à personne sur les mises à niveau de produits. Bref, les auteurs parviennent à démontrer que les nombreuses mises à niveau et l'augmentation du prix de détail de certains produits durables sont imputables à l'interaction entre les deux marchés de produits d'occasion et non simplement liées aux commerces de détail qui font la revente de produits d'occasion.

(*Marketing Science*, à paraître)

Saibal Ray, Faculté de gestion Desautels, Université McGill et GERAD

Shuya Yin, University of California, Irvine, USA

Haresh Gurnani, School of Business, University of Miami, USA

Animesh Animesh, Faculté de gestion Desautels, Université McGill

pas une grande sensibilité au prix. En conséquence, cette pratique est surtout utile dans les secteurs comme la haute technologie, le vêtement et les produits pharmaceutiques. Enfin, en élargissant notre structure à un milieu où le fabricant exploite entièrement la capacité dont il dispose en adaptant ses prix de façon dynamique une fois la période de ventes arrivée, nous réconcilions les travaux sur la capacité de production avec ceux qui traitent de gestion. Nos résultats montrent qu'une fixation de prix dynamique tenant compte de la capacité de production en place permet une augmentation des bénéfices, quoique dans une certaine mesure seulement. Pour cette raison, une fixation de prix dynamique au cours de la période de ventes ne saurait servir que de substitut partiel à une fixation de prix dynamique effectuée au cours des périodes de ventes hâtives.

(*Operations Research*, à paraître)

Tamer Boyaci, Faculté de gestion Desautels, Université McGill et GERAD

Özalp Özer, School of Management, University of Texas at Dallas, USA

Bulletin du GERAD

Édité 2 fois l'an par le GERAD.

Directeur du Bulletin
Georges Zaccour
georges.zaccour@gerad.ca

GERAD
HEC Montréal
3000, chemin de la Côte-Sainte-Catherine
Montréal (Québec) Canada H3T 2A7
Téléphone : 514 340-6053

Site Internet
www.gerad.ca
bulletin@gerad.ca

Traduction
Communications Marie-Carole Daigle enr.
Benjamin T. Smith

Coordonnatrice
Marie Perreault

Responsable de l'édition
Francine Benoît

Conception graphique
HEC Montréal

Dépôt légal : 4^e trimestre 2009
Bibliothèque nationale du Québec

Reproduction autorisée avec mention
de la source



HEC Montréal – Campus durable est un mouvement qui mobilise l'ensemble de la communauté universitaire autour de trois axes principaux : enseignement, recherche et milieu de vie.



Soucieuse de l'environnement, HEC Montréal privilégie l'utilisation de papier recyclé fabriqué au Québec dans le respect de normes environnementales reconnues.