

Volume 33 Number 3

July 1999

## Contents

In This Issue	2
The 1999/2000 Council / Le Conseil 1999/2000	3
Address of the Outgoing President	4
Address of the Incoming President	5
<b>Modelling Markovian Queues and Similar Processes</b>	7
– Feature Article by Winfried Grassmann	
The CORS Membership Survey Is Here!	14
Elected Members to the 1999/2000 Council / New Section Presidents	14
CORS / SCRO Financial Statements	14
1998/99 CORS Award Winners	17
<b>A Markov Decision Process Model for Airline Meal Provisioning</b>	19
<b>Un modèle de décision markovien pour le service des repas à bord des avions</b>	20
<b>Locating Specialty Crews</b>	28
<b>La localisation d'équipes spécialisées</b>	29
CORS Members "Making Waves"	34
News from Western Canada	35
Travelling Speakers Program / Programme de Conférenciers Itinérants	36
Meetings and Conferences	37
The Next Issue	39
Membership Form	39
* <b>Membership Survey / Sondage sur les membres aux services</b> *	
-- Attached at the end of this issue --	

**In This Issue**

The most significant event to take place during the last three months was the CORS National Conference held in Windsor, June 7-9, 1999. As is traditional with this issue, a review of the various prize winners, the new Council, and the financial statements from the AGM are given. As well, be sure to read the two articles representing this year's award-winning papers presented at the Student Prize Session.

In this issue of the Bulletin, we feature an invited article on page 7 from our recent CORS Award of Merit recipient Winfried Grassmann entitled, "*Modelling Markovian Queues and Similar Processes*". If you have suggestions for future articles, please pass them along to [Bernard.Lamond@fsa.ulaval.ca](mailto:Bernard.Lamond@fsa.ulaval.ca).

For easy removal, please find the long-awaited CORS Membership Survey attached to the end of this issue. Some brief words concerning the survey are found on page 14. Take the time to express your views by filling it out - Your voice is very important to our Society!

On the heels of the successful Windsor conference, the Society is moving in a positive direction as we forge ahead to next year's conference in Edmonton. Let's keep the momentum going! With that thought, please feel free to send comments and suggestions to me at [drekic@fisher.stats.uwo.ca](mailto:drekic@fisher.stats.uwo.ca). In the meantime, enjoy the rest of your summer!

*Steve Drekić*

**Editor/Rédacteur**

Steve Drekić

**Publisher/Éditeur**CORS / SCRO  
Box 2225 Station D  
Ottawa, Ont. K1P 5W4**Printer/Imprimeur**Grenville Management &  
Printing  
25 Scarsdale Road  
North York, Ont  
M3B 2R2**Elected Officers**President  
Vice-President  
Past-President  
Secretary  
Treasurer**Officiers élus**Laura Logan  
Bernard Lamond  
Rick Caron  
Evelyn Richards  
John Blake**Councillors****Conseillers**Paul Comeau (98/00)  
Nadine Hofmann (98/00)  
Winfried Grassmann  
(99/01)  
Bill Hurley (99/01)**Standing  
Committees**Education  
Membership  
Public Relations**Comités permanents**Erhan Erkut  
Nadine Hofmann  
Winfried Grassmann  
Bernard Lamond  
Michel Gendreau  
Erhan ErkutPublications  
Program**Ad hoc Committees**Practice Prize  
Student Paper  
Solandt Prize  
Larnder Prize  
Service Award  
Merit Award**Comités ad hoc**Paul Comeau  
Michael Carter  
Erhan Erkut  
Peter Bell  
Bernard Lamond  
Rick Caron  
Winfried Grassmann  
Maurice Queyranne  
John Blake  
Bernard Lamond  
Laura Logan  
Laura Logan  
[www.cors.ca](http://www.cors.ca)

Financial Planning

IFORS Rep

**WWW**

**CORS - SCRO 2000 ANNUAL CONFERENCE**  
***Energy, Natural Resources, and the Environment***  
MAY 29-31, 2000  
EDMONTON, ALBERTA

**The 1999/2000 Council**

Your 1999/2000 Council, which is made up of the Officers of the Society, the Elected Councillors, and the Section Presidents, is given below. This information, together with complete mailing addresses, can be found at <[www.cors.ca](http://www.cors.ca)>.

**Le Conseil 1999/2000**

Le Conseil 1999/2000 de la Société se compose des officiers de la Société, des conseillers élus et des présidents des sections locales, tel qu'indiqué ci-dessous. Cette information, ainsi que les adresses complètes des membres du Conseil, est disponible à <[www.cors.ca](http://www.cors.ca)>.

---

President	Laura Logan, Air Canada, <a href="mailto:llogan@aircanada.ca">llogan@aircanada.ca</a>
Vice President	Bernard Lamond, Université Laval, <a href="mailto:Bernard.Lamond@fsa.ulaval.ca">Bernard.Lamond@fsa.ulaval.ca</a>
Secretary	Evelyn W. Richards, University of New Brunswick, <a href="mailto:ewr@unb.ca">ewr@unb.ca</a>
Treasurer	John T. Blake, DalTech, <a href="mailto:blakejt@tuns.ca">blakejt@tuns.ca</a>
Past President	Rick Caron, University of Windsor, <a href="mailto:rcaron@uwindsor.ca">rcaron@uwindsor.ca</a>
Councillor	Paul Comeau, Department of National Defense, <a href="mailto:pcomeau@ora.dnd.ca">pcomeau@ora.dnd.ca</a>
Councillor	Winfried Grassmann, University of Saskatchewan, <a href="mailto:grassman@cs.usask.ca">grassman@cs.usask.ca</a>
Councillor	Nadine Hofmann, University of British Columbia, <a href="mailto:nadine.hofmann@ubc.ca">nadine.hofmann@ubc.ca</a>
Councillor	Bill Hurley, Royal Military College of Canada, <a href="mailto:hurley-w@rmc.ca">hurley-w@rmc.ca</a>
Atlantic	Ron Pelot, DalTech, <a href="mailto:Ronald.Pelot@dal.ca">Ronald.Pelot@dal.ca</a>
Québec	Adel Guitouni, Defence Research Establishment Valcartier, <a href="mailto:Adel.Guitouni@drev.dnd.ca">Adel.Guitouni@drev.dnd.ca</a>
Montréal	Michel Gendreau, Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal, <a href="mailto:michelg@crt.umontreal.ca">michelg@crt.umontreal.ca</a>
Ottawa / Hull	François Julien, University of Ottawa, <a href="mailto:julien@admin.uottawa.ca">julien@admin.uottawa.ca</a>
Kingston	Rick Burns, Queen's University, <a href="mailto:burnsr@post.queensu.ca">burnsr@post.queensu.ca</a>
Toronto	Marvin Mandelbaum, York University, <a href="mailto:mandel@yorku.ca">mandel@yorku.ca</a>
SW Ontario	Reza Lashkari, University of Windsor, <a href="mailto:lash@uwindsor.ca">lash@uwindsor.ca</a>
Winnipeg	A. S. Alfa, University of Manitoba, <a href="mailto:alfa@cc.umantioba.ca">alfa@cc.umantioba.ca</a>
Saskatoon	Winfried Grassmann, University of Saskatchewan, <a href="mailto:grassman@cs.usask.ca">grassman@cs.usask.ca</a>
Calgary	Maurice Elliott, Decision Insight Systems Inc., <a href="mailto:Maurice@decision-insight.com">Maurice@decision-insight.com</a>
Edmonton	Erhan Erkut, University of Alberta, <a href="mailto:erhan.erkut@ualberta.ca">erhan.erkut@ualberta.ca</a>
Vancouver	Nadine Hofmann, University of British Columbia, <a href="mailto:nadine.hofmann@ubc.ca">nadine.hofmann@ubc.ca</a>
Toronto Student	Burcu Anadol, University of Toronto, <a href="mailto:anadol@mie.utoronto.ca">anadol@mie.utoronto.ca</a>
Waterloo Student	Saibal Ray, University of Waterloo, <a href="mailto:s3ray@engmail.uwaterloo.ca">s3ray@engmail.uwaterloo.ca</a>
Vancouver Student	Claire Lin, University of British Columbia, <a href="mailto:clin@coe.ubc.ca">clin@coe.ubc.ca</a>

---

**Address of the Outgoing President: Richard Caron, June 8, 1999**

Dear Members of CORS:

About one year ago, I stood before you and said that we should use the 40<sup>th</sup> Anniversary of our Annual Conference as a catalyst to think of our memories, our stability, our renewal, and our ability to adapt. Today I will talk about our progress towards those goals.

The stability of our Society has improved through our contract with Denise Muinonen to maintain and control our membership database. Together with our more formal process for the billing of fees and dealing with delinquent accounts, with our regular publication of the Bulletin, and with our ability to handle credit card payments, we have made great improvements.

For our renewal, I proposed a four-point plan: Student Membership, Faculty Memberships, Institutional Memberships, and Image.

We have concentrated our efforts on student memberships. We have seen the start-up of a new student section in Vancouver and we have the potential for at least one other new student section. At this conference, we have used low registration fees and the student residence arrangements to help us attract 55 student registrations. With these efforts, we have raised the profile of OR as a discipline, and hopefully, we have generated a strong membership base for the coming decade. As these students move on in their professional careers, CORS will develop a solid non-academic membership base.

With our new conference fee policy in effect, all non-members paying full registration become members. We now have 45 new members for 1999/2000. This kind of activity will show us as a vibrant society and should have a positive impact on future NSERC funding re-allocation exercises.

While we haven't yet established an Institutional

Cher membre de la SCRO,

Il y a un an de cela, quand je m'étais présenté devant vous, j'avais déclaré que nous devrions profiter du quarantième anniversaire de notre congrès annuel pour faire le point sur nos réalisations passées, sur la permanence de notre Société, sur la relève et sur notre faculté d'adaptation. Aujourd'hui, le temps est venu pour moi de vous faire part de l'avancement de ces dossiers.

Nous avons amélioré la permanence de notre Société en mettant sous contrat Denise Muinonen qui assure la mise à jour et la gestion de la base de données de nos membres. À cela se sont ajoutées plusieurs autres améliorations importantes, notamment un système plus rigoureux de facturation des cotisations et de recouvrement des arriérés, la publication régulière de notre Bulletin et notre capacité à traiter des paiements par carte de crédit.

Pour assurer la relève de la Société, j'ai proposé un plan en quatre volets : membres étudiants, membres diplômés, membres institutionnels et image de marque.

Nous avons concentré nos efforts sur les membres étudiants. Une nouvelle section étudiante a vu le jour à Vancouver et nous avons le potentiel nécessaire pour au moins une autre nouvelle section étudiante. Au congrès, nous avons instauré des frais d'inscription peu élevés et des mesures d'hébergement en résidence à l'intention des étudiants, ce qui nous ont permis de recueillir 55 inscriptions d'étudiants. Par ces initiatives, nous avons élevé la RO au rang de discipline à part entière, et, souhaitons-le, formé une base de membres solide pour la prochaine décennie. À mesure que ces étudiants se retrouveront sur le marché du travail, la SCRO recrutera une base importante de membres non issus des milieux universitaires.

Avec l'entrée en vigueur de notre nouvelle politique de frais de congrès, tous les non-membres s'inscrivant à toute la durée du congrès deviennent membres de la Société. Nous avons maintenant admis 45 nouveaux membres pour l'exercice 1999-2000. Une telle initiative donne une image positive de la Société et devrait avoir des répercussions favorables sur les prochains exercices de réaffectation des fonds du CRSNG.

Même si nous n'avons pas encore créé de catégorie

**CORS - SCRO 2000 ANNUAL CONFERENCE**  
***Energy, Natural Resources, and the Environment***  
MAY 29-31, 2000  
EDMONTON, ALBERTA

membership category, we have started our investigations and will perhaps complete this in the year ahead.

Our more professional look has been seen most in the quality of our Bulletin. With the addition of an editor for special articles, Bernard Lamond, and with Steve's excellent editorial skills, this publication has become a valuable part of the membership benefits package.

Last year, we introduced Council Meetings by Conference Call. We had two such meetings. Not only was more business completed in a shorter period of time, but we had higher participation rates and we saved over \$3500!

So, I believe we have come a long way in the past year, and certainly in the past two years. At this time I would like to say thank you for your support and pass on the stewardship of the Society, symbolized by the Rivett Mug, to Laura Logan.

des membres institutionnels, nous avons entrepris des démarches en ce sens qui pourraient se concrétiser au cours de la prochaine année.

Notre image plus professionnelle se remarque avant tout dans la qualité de notre Bulletin. Grâce à la désignation d'un responsable des articles spéciaux, Bernard Lamond, et au grand talent de Steve au poste de rédacteur en chef, cette publication est devenue un élément très apprécié parmi les avantages accordés aux membres.

L'année dernière, nous avons instauré la tenue de réunions du Conseil par conférence téléphonique. Deux de ces réunions ont eu lieu. Non seulement avons-nous réussi à abattre une plus grande charge de travail en moins de temps, mais nous avons obtenu des taux de participation supérieurs et avons économisé plus de 3 500 \$!

J'estime donc que nous avons parcouru beaucoup de chemin depuis l'année dernière, et plus encore depuis deux ans. Je vous remercie de votre appui et je passe maintenant le flambeau, symbolisé par la chope de Rivett, à Laura Logan.

### **Address of the Incoming President: Laura Logan, June 8, 1999**

Merci beaucoup Rick. C'est un honneur d'être présidente de la SCRO et je suis fière d'être ici aujourd'hui.

It is a real honour to take on the presidency of CORS today. The first thing that I would like to do is to express my gratitude to the conference organizing committee. The conference has been going very well and typifies what a lot of our members appreciate about CORS conferences – it is large enough for a broad sharing of information and yet small enough for good conversation and interaction.

J'aimerais remercier le comité organisateur du congrès. Plusieurs membres de la SCRO m'ont dit qu'ils préfèrent ces congrès parce qu'ils sont assez petits pour assister à la plupart des présentations et pour avoir de bons échanges d'idées et assez grands pour avoir une bonne variété de discours.

Préparer et faire fonctionner un congrès demandent beaucoup d'effort d'une grande équipe. Ici nous avons une équipe de professeurs, étudiants et étudiantes, et de bénévoles qui ont travaillé ensemble et qui ont bien réussi.

The organizing committee here, a team of professors, students, and volunteers has been very successful. The gift bags and other special touches are greatly appreciated and will make this conference memorable.

**CORS - SCRO 2000 ANNUAL CONFERENCE**  
***Energy, Natural Resources, and the Environment***  
MAY 29-31, 2000  
EDMONTON, ALBERTA

I would also like to thank the CORS council, both from past years and for the coming year. Rick, you have put in a lot of time and effort and it shows in the way council operates.

Je suis heureuse de commencer l'année avec le conseil existant – le vice-président Bernard Lamond who could not be with us today, le secrétaire / secretary Evelyn Richards, le trésorier / treasurer John Blake et les conseillers / councillors Nadine Hofmann, Paul Comeau, Winfried Grassmann and Bill Hurley. They will be a strong team.

I will be counting on the continued support of Rick and all the other members of CORS. The society is an important part of the OR community and over the past years a lot of work has been done to make it run better. The database system that tracks the membership and dues has been replaced and is being handled by dedicated people. Efforts are being put into re-energizing the local sections and Paul Comeau is preparing a survey of the members. The Bulletin has been revamped and is opening up the communications.

La société est une partie importante de la communauté de la recherche opérationnelle. Les années précédentes ont vu plusieurs changements qui ont pu faire mieux fonctionner la société. La base de données des membres a été remplacée et est maintenant opérée par les gens assignés. Nous travaillons à augmenter les activités des sections locales. Paul Comeau est en train de développer un sondage des membres. Le Bulletin a été renouvelé et facilité la communication entre les membres.

Je suis fière de faire partie du conseil qui va mener la société vers l'année 2000. Je vois ici plusieurs personnes qui sont membres de la SCRO depuis longtemps et aussi beaucoup de nouveaux membres. Je vous demande, tous, de nous aider à augmenter la valeur livrée par la société à ses membres.

I am proud to be part of the council that will bring the Society into the year 2000. I see a lot of people who have been with the Society for many years and also a lot of new faces. I am asking each of you to help us to increase the value brought by the Society to its members. The society belongs to us, its members, and we must take an active role in order for it to achieve its potential.

La société nous appartient tous, et nous devons être actifs en s'assurant qu'elle attient son potentiel.

Ensemble vers l'année 2000! Let's go to the year 2000! Thank you. Merci.

**CORS - SCRO 2000 ANNUAL CONFERENCE**  
***Energy, Natural Resources, and the Environment***  
MAY 29-31, 2000  
EDMONTON, ALBERTA

## Modelling Markovian Queues and Similar Processes

Winfried Grassmann  
Department of Computer Science  
University of Saskatchewan

## La modélisation des files d'attente markoviennes et processus analogues

Winfried Grassmann  
Department of Computer Science  
University of Saskatchewan

Queueing theory originated in 1909 when A. K. Erlang investigated queues as they arose in telephone network. His work was later incorporated into Operational Research. Unfortunately, the literature on queueing theory became increasingly mathematical, and this prevented its widespread use. However, this changed when people started applying queueing theory to computer performance evaluation. In these applications, it turned out that even relatively simple queueing models provided results that were in close agreement to actual observations. This led to a rapid development of queueing theory and its application in computer performance evaluation and communications. Indeed, queueing theory is now an integral part of computer performance evaluation<sup>13</sup>. Researchers in this area have pioneered many new methods, which were later applied successfully elsewhere, particularly in manufacturing situations<sup>23</sup>. There was also a resurgence of practical queueing theory<sup>6</sup> in more traditional areas of Operations Research, spearheaded by Peter Kolesar<sup>14</sup> and Richard Larson<sup>15</sup>. Due to these developments, queueing theory is very active today, and applications abound.

Besides providing a number of new theoretical results, the researchers of computer performance evaluation introduced a different approach to queueing theory: in particular, they emphasized the need for computer-based tools<sup>19</sup> that allow non-experts to use queueing theory effectively. There are, in particular, many applications programs in the area of so-called Generalized Stochastic Petri-nets (GSPNs)<sup>1</sup> and Stochastic Activity Nets (SANs)<sup>22</sup> that allow for graphics-based modelling.

GSPNs and SANs, like many other modelling tools in this area, are based on Markov chains, that is, all events, such as arrivals, service completions, changes of queues and so on, depend only on the present state of the system, and not on its past behaviour. This simplifies not only the mathematical treatment,

Les origines de la théorie des files d'attente remontent à 1909 à l'époque où A. K. Erlang en a posé les bases dans ses recherches sur le trafic téléphonique. Ses travaux ont par la suite été intégrés à la recherche opérationnelle. Malheureusement, les publications sur la théorie des files d'attente ont adopté un langage de plus en plus mathématique, ce qui a freiné l'utilisation de cette théorie. La situation a toutefois changé quand des gens ont commencé à appliquer la théorie des files d'attente à l'évaluation des performances. Pour ce type d'applications, il est apparu que même des modèles de files d'attente relativement simples fournissaient des résultats qui correspondaient de près aux observations réelles. On assista alors à une évolution rapide de la théorie des files d'attente qu'on appliqua alors à l'évaluation des performances des systèmes informatiques et aux communications. Aujourd'hui, la théorie des files d'attente fait partie intégrante de l'évaluation des performances des systèmes informatiques<sup>13</sup>. Les chercheurs oeuvrant dans cette branche d'activité ont élaboré plusieurs nouvelles méthodes qui ont ensuite été appliquées avec succès dans d'autres domaines, notamment dans le secteur de la fabrication<sup>23</sup>. On a aussi constaté une résurgence des applications pratiques<sup>6</sup> de la théorie des files d'attente dans des secteurs plus traditionnels de la recherche opérationnelle, un mouvement mené par Peter Kolesar<sup>14</sup> et Richard Larson<sup>15</sup>. Grâce à tous ces développements, la théorie des files d'attente est aujourd'hui largement utilisée et ses applications sont multiples.

En plus de fournir de nouveaux résultats théoriques, les chercheurs qui s'intéressent à l'évaluation des performances des systèmes informatiques ont proposé une approche différente de la théorie des files d'attente : ils ont notamment souligné le besoin de créer des outils informatiques<sup>19</sup> qui permettraient aux non-spécialistes d'utiliser la théorie des files d'attentes de manière efficace. Ainsi, on pense en particulier à de nombreux programmes d'application dans le domaine des réseaux de Petri stochastiques généralisés (GSPN)<sup>1</sup> et des réseaux d'activités stochastiques (SAN)<sup>22</sup> qui permettent une modélisation en mode graphique.

Les GSPN et les SAN, comme beaucoup d'autres outils de modélisation dans ce champ d'activité, se fondent sur les chaînes de Markov, c'est-à-dire que tous les

but also data collection because only averages are needed, such as average service times, average number of arrivals per time unit, and so on. In computer programs based on GSPNs and SANs, the user enters the system description in graphic form, and the program then automatically converts this description into a Markov chain. Traditional queueing theory is also based on Markov chains, but the transition matrices of these chains are usually given explicitly by means of mathematical symbols. The alternative, namely to describe the model by stating the different possible events, such as arrivals, changes of queues, departures, and so on, and mathematically describe their effect, is used only rarely. I think this is a mistake, because stating the events is much more straightforward, and the generation of the transition can then be left to a computer program. Designing such a program is not difficult. One merely enumerates all possible states, and applies the events to these different states<sup>6</sup>.

The use of Markov chains is not as restrictive as it may seem. In fact, the progress of service times, interarrival times and the like can be described by introducing new discrete state variables, called phases. Another trick to make a non-Markovian system Markovian goes as follows: in some non-Markovian systems, there may be sequences of epochs that form a Markov chain. These epochs are called regeneration points, and the Markov chain formed by observing the system only at the regeneration points is called an imbedded Markov chain. For instance, if a system is Markovian, except for arrivals to the system, then the points immediately after an arrival form regeneration points, and the states of the system at the regeneration points form a discrete Markov process. As in all other Markovian systems, this imbedded Markov chain is determined by a transition matrix that must be generated before the system can be analyzed.

In many cases, the transition matrices of Markov chains are large, but sparse. The reason for this is that systems typically contain a number of different queues or other state variables, such as phases, customer types, priorities and similar things, and each

sur les chaînes de Markov, c'est-à-dire que tous les événements tels que les arrivées, les fins de service, les changements de files d'attente, etc. dépendent uniquement de l'état actuel du système et non de son comportement antérieur. Cela simplifie non seulement le traitement mathématique, mais aussi la collecte de données puisque seules les moyennes sont requises, par exemple une moyenne des délais de service, une moyenne des arrivées par unité de temps et ainsi de suite. Dans les programmes informatiques par GSPN et SAN, l'utilisateur saisit la description du système sous une forme graphique et le programme convertit alors automatiquement cette description en une chaîne de Markov. La théorie des files d'attente traditionnelle se fonde elle aussi sur les chaînes de Markov, mais les matrices de passage de ces chaînes sont généralement représentées de manière explicite par des symboles mathématiques. L'autre méthode, qui consiste à décrire le modèle en formulant les différents événements possibles, tels que les arrivées, les changements de files d'attente, les départs, etc., et en décrivant leur effet mathématiquement, est rarement utilisée. Je crois que cela constitue une erreur, puisque la formulation des événements se révèle une méthode beaucoup plus directe; il suffit ensuite d'avoir recours à un programme informatique pour la génération de la transition. La conception d'un tel programme n'est pas difficile. Il suffit d'énumérer tous les états possibles et d'appliquer les événements aux différents états<sup>6</sup>.

L'utilisation des chaînes de Markov n'est pas aussi restrictive qu'il y paraît à première vue. En réalité, pour décrire l'évolution des délais de service, des intervalles entre les arrivées, etc., on peut utiliser de nouvelles variables d'état discrètes, appelées phases. Il existe une autre façon de faire d'un système non markovien un système markovien : dans certains systèmes non markoviens, il y a parfois des séquences de périodes qui forment une chaîne de Markov. Ces périodes portent le nom de points de régénération et la chaîne de Markov formée par l'observation du système aux points de régénération seulement est appelée une chaîne de Markov incluse. Par exemple, si un système est markovien, sauf en ce qui concerne les arrivées au système, alors les points se trouvant immédiatement après une arrivée constituent des points de régénération et les états du système aux points de régénération forment un processus de Markov discret. Comme dans tous les autres systèmes markoviens, cette chaîne de Markov incluse est déterminée par une matrice de passage qui doit être générée pour qu'on puisse analyser le système.

Dans bon nombre de cas, les matrices de passage des chaînes de Markov sont vastes, mais creuses. Cela est



combination of the state variables leads to a separate state. Hence, the number of states increases exponentially with the number of state variables. The number of events, on the other hand, tends to increase only with the square of the number of state variables, or even slower. This means that as the number of state variables increases, the transition matrices become sparser and sparser, and we conclude that systems with several state variables are huge, but sparse.

The methods used for analyzing huge, but sparse matrices are quite different from the ones used in more traditional queueing models. For instance, to find transient solutions of Markov chains, the traditional queueing theorist may suggest similarity transforms, which would require the evaluation of eigenvectors and eigenvalues. If the number of states is in the thousands or even millions, this is clearly unfeasible. Instead, the randomization method<sup>6</sup> is the method of choice for finding transient solutions in large Markov chains. Randomization also preserves sparsity, which is essential for the huge, but sparse matrices we are dealing with. Traditionally, steady-state equations are solved by using elimination methods, such as Gaussian elimination. For huge matrices, this is not only inefficient, but due to rounding errors, the results of Gaussian elimination are also inaccurate. Instead of Gaussian elimination (a direct method), so called iterative methods are used<sup>12,21</sup>. These methods start with some approximation, which is improved step-by-step until one is close enough to the true solution. Iterative methods have several advantages over direct methods, such as Gaussian elimination. They typically preserve sparsity, which, as indicated earlier, is essential. They are also very resistant to rounding errors since they work with approximations, and making additional errors in these approximations may slow convergence, but it seldom affects the precision of the final result. Finally, the number of floating point operations per iteration is typically of the order  $s$ , where  $s$  is the number of non-zero entries in the transition matrix. It follows that if the number of iterations does not increase significantly with the matrix size, iterative methods have a lower computational complexity than direct methods where the number of floating point

attribuable au fait que les systèmes contiennent habituellement différentes files d'attente ou autres variables d'état, telles que les phases, les catégories de clients, les priorités etc. et que chaque combinaison de ces variables d'état engendre un état distinct. Ainsi, le nombre d'états augmente de façon exponentielle en fonction du nombre de variables d'état. Le nombre d'événements, d'autre part, a tendance à augmenter seulement en fonction du carré du nombre de variables d'état, voire même plus lentement. Cela signifie que plus le nombre de variables d'état augmente, plus les matrices de passage deviennent creuses et c'est pourquoi nous disons que les systèmes comportant plusieurs variables d'état sont vastes, mais creux.

Les méthodes employées pour analyser des matrices vastes, mais creuses, sont assez différentes de celles utilisées dans les modèles de files d'attente plus traditionnels. Par exemple, pour trouver des solutions transitoires pour des chaînes de Markov, un partisan de la théorie des files d'attente traditionnelle pourra suggérer des transformées de similitude, pour lesquelles il faudrait évaluer les vecteurs propres et les valeurs propres. Si le nombre d'états atteint plusieurs milliers, voire des millions, cette méthode est absolument irréalisable. La randomisation<sup>6</sup> sera plutôt la méthode à privilégier pour trouver des solutions transitoires pour de grandes chaînes de Markov. La randomisation préserve aussi le caractère fondamental qui fait de ces matrices de grande taille, des matrices creuses. Habituellement, pour résoudre les équations stationnaires, on utilise des méthodes d'élimination, telles que l'élimination gaussienne. Pour les matrices d'une grande amplitude, non seulement cette méthode est inefficace, mais en raison des erreurs d'arrondi, les résultats de l'élimination gaussienne sont également inexacts. Au lieu de l'élimination gaussienne (une méthode directe), on utilise des méthodes dites itératives<sup>12,21</sup>. Ces méthodes ont comme point de départ une approximation, qu'on améliore progressivement, jusqu'à ce qu'on soit suffisamment près d'une vraie solution. Les méthodes itératives présentent plusieurs avantages par rapport aux méthodes directes telles que l'élimination gaussienne. Elle préserve le caractère creux des matrices qui, comme nous l'avons mentionné précédemment, est fondamental. Elles sont aussi très robustes aux erreurs d'arrondi puisqu'elles fonctionnent par approximations et les erreurs supplémentaires que peuvent entraîner ces approximations peuvent ralentir la convergence, mais elles affectent rarement la précision du résultat final. Enfin, le nombre d'opérations en virgule flottante par itération est généralement de l'ordre de  $s$ , où  $s$  correspond au nombre d'entrées non nulles dans la matrice de passage. Il s'ensuit que si le nombre

methods, where the number of floating point operations increases with the third power of the matrix size.

In direct methods, the effect of rounding errors accumulates exponentially with the problem size. Hence, whereas rounding errors may not cause any problem when dealing with small models, they may prove disastrous in large models unless proper precautions are taken. One way of reducing rounding errors is to avoid subtractions. In fact, the randomization method for finding transient solutions in Markov chains does not contain any subtractions, and this makes the method very stable. It is even possible to solve the equilibrium equations without any subtractions. This is accomplished by using the so-called GTH algorithm<sup>11</sup>, which is a variant of Gaussian elimination. As discussed already, rounding errors tend not to be a problem in iterative methods, which is one of the reasons to use them.

Queues are often unrestricted in size, which means that the resulting Markov chains are infinite. Under some restrictive conditions, it is possible to find steady-state solutions of infinite-state Markov chains. In particular, it is possible to find equilibrium solutions when the transition matrix is block-structured and the rows of blocks repeat from a certain point onward, provided they are shifted such that the same element always occupies the diagonal. Such transition matrices arise in Markovian systems where there is only one unbounded state variable, called the level, and, except for some initial states, the level does not affect the remaining state variables. The methods for solving the equilibrium equations with repeating rows fall into two groups: matrix analytic methods and methods based on eigenvalues.

Matrix analytic methods were introduced by Neuts. In these methods, the performance measures of the system are expressed in terms of a certain key matrix, which is determined by solving a non-linear matrix equation. Neuts distinguishes between transition matrices of GI/M/1 type<sup>17</sup> and matrices of M/G/1 type<sup>18</sup>. In matrices of GI/M/1 type, no transition can increase the level by more than one, but the level can

d'itérations n'augmente pas de manière significative en fonction de la taille de la matrice, la complexité numérique des méthodes itératives est moins grande que celle des méthodes directes, pour lesquelles le nombre d'opérations en virgule flottante augmente à la puissance trois de la taille de la matrice.

Dans les méthodes directes, l'effet des erreurs d'arrondi augmente de façon exponentielle en fonction de la taille du problème. Ainsi, alors que les erreurs d'arrondi peuvent ne causer aucun problème lorsqu'on utilise des petits modèles, elles ont parfois un effet désastreux dans des modèles de grande taille, si les précautions appropriées n'ont pas été prises. L'un des moyens de réduire les erreurs d'arrondi consiste à éviter les soustractions. En réalité, la méthode de randomisation permettant de trouver des solutions transitoires pour les chaînes de Markov ne contient aucune soustraction et c'est pourquoi elle constitue une méthode très stable. Il est même possible de résoudre des équations d'équilibre sans soustraction. Pour ce faire, on utilise l'algorithme dit GTH<sup>11</sup>, qui est une variante de l'élimination gaussienne. Comme nous l'avons déjà souligné, les erreurs d'arrondi ne constituent généralement pas un problème dans les méthodes itératives, ce qui est l'une des raisons pour lesquelles nous les utilisons.

Souvent, les files d'attente ne comportent aucune contrainte de taille, ce qui signifie que les chaînes de Markov qui en résultent sont infinies. Dans des conditions de contraintes, il est possible de trouver des solutions stationnaires pour des chaînes de Markov en état infini. Plus spécifiquement, il est possible de trouver des solutions stationnaires quand la matrice de passage est en structure de bloc et que les rangs de blocs se répètent à partir d'un certain point, à condition qu'ils soient placés de telle manière que le même élément occupe toujours la diagonale. On retrouve de telles matrices de passage dans des systèmes markoviens où il n'y a qu'une variable d'état non bornée, appelée le niveau, et sauf pour certains états initiaux, le niveau n'affecte pas les variables d'état restantes. Les méthodes de résolution des équations d'équilibre comportant des rangs qui se répètent se répartissent en deux groupes : les méthodes d'analyse matricielle et les méthodes fondées sur les valeurs propres.

C'est Neuts qui a mis de l'avant les méthodes d'analyse matricielle. Dans ces méthodes, les mesures de performance du système sont exprimées sous la forme d'une matrice clé, qu'on établit en résolvant une équation matricielle non linéaire. Neuts fait une distinction entre les matrices de passage de type

level by more than one, but the level can decrease by any amount. In matrices of M/G/1 type, however, the level can increase by any amount, but it can decrease only by one at most. Matrices of GI/M/1 type lead to so-called matrix-geometric solutions, that is, there exists a matrix  $\mathbf{R}$ , and the probabilities of being in the different states of level  $i$  are given by the probabilities at level zero, multiplied by  $\mathbf{R}^i$ . Grassmann and Heyman<sup>9,24</sup> generalized the paradigms of Neuts by considering matrices that can go up or down by any amount, and they solved these matrices by considering a generalization of Gaussian elimination to infinite-state matrices. As it turns out<sup>10</sup>, this construct allows one to give a new meaning to many of the results derived by Neuts.

There are two approaches using eigenvalues to solve the equilibrium equations of Markov chains with repeating rows<sup>5</sup>: the generating functions approach and what might be called the quasi-difference equations approach. In the generating functions approach<sup>4</sup>, a matrix-based generating function is inverted by using eigenvalues. The quasi-difference equations method<sup>16</sup> expresses the steady-state probabilities in terms of difference equations, except that the coefficients of these equations are matrices. The results obtained from either of these two methods are encouraging<sup>4,16</sup>. Moreover, methods based on eigenvalues have, in many cases, a computational complexity that is significantly lower than the one observed in matrix analytic methods<sup>8</sup>. In some cases of interest, only roots of characteristic functions are required, and these can be found efficiently, even if the polynomials involved are of a high degree<sup>2,3</sup>.

So far, no good algorithms exist when more than one state variable has an infinite range. Of course, it is always possible to truncate all except one of these variables, a device used by Stanford and Grassmann<sup>20</sup>. This solution, however, is only partially satisfactory, and more research in this area is needed. This is one of the many problems in the area still waiting for a good solution.

GI/M/1<sup>17</sup> et les matrices de type M/G/1<sup>18</sup>. Dans les matrices de type GI/M/1, aucune transition ne peut augmenter le niveau de plus que un, mais la diminution du niveau peut prendre n'importe quelle valeur.. Dans les matrices de type M/G/1, cependant, l'augmentation du niveau peut prendre n'importe quelle valeur, mais le niveau ne peut descendre de plus de un. Les matrices de type GI/M/1 produisent des solutions dites matricielles-géométriques, c'est-à-dire qu'il existe une matrice  $\mathbf{R}$ , et les probabilités qu'elle soit dans les différents états du niveau  $i$  sont données par les probabilités au niveau zéro, multipliées par  $\mathbf{R}^i$ . Grassmann et Heyman<sup>9,24</sup> ont généralisé les paradigmes de Neuts : ils ont considéré les matrices qui peuvent croître ou décroître de n'importe quelle valeur et ils ont résolu ces matrices en procédant à une généralisation de l'élimination gaussienne pour des matrices en état infini. Le concept obtenu<sup>10</sup> permet de donner une nouvelle signification à beaucoup des résultats présentés par Neuts.

Il existe deux approches qui utilisent les valeurs propres pour résoudre les équations d'équilibre des chaînes de Markov contenant des rangs répétés<sup>5</sup>: l'approche des fonctions génératrices et ce qu'on pourrait appeler l'approche des équations quasi-différentielles. Dans l'approche des fonctions génératrices<sup>4</sup>, on inverse une fonction génératrice fondée sur une matrice en utilisant des valeurs propres. La méthode des équations quasi-différentielles<sup>16</sup> exprime les probabilités stationnaires sous la forme d'équations différentielles, sauf que les coefficients de ces équations sont des matrices. Les résultats obtenus avec l'une ou l'autre de ces méthodes sont encourageants<sup>4,16</sup>. En outre, la complexité arithmétique des méthodes fondées sur les valeurs propres est nettement inférieure à celle observée dans les méthodes d'analyse matricielle<sup>8</sup>. Dans certains cas, seules les racines des fonctions caractéristiques sont requises et on peut les trouver efficacement, même si les polynômes en présence sont d'un haut niveau<sup>2,3</sup>.

Jusqu'à maintenant, il n'existe toujours pas de bon algorithme pour les cas où plus d'une variable d'état a un horizon infini. Bien sûr, il est possible de tronquer toutes ces variables à l'exception d'une seule, un mécanisme utilisé par Stanford et Grassmann<sup>20</sup>. Cette solution, cependant, n'est que partiellement satisfaisante et il faudra poursuivre les recherches dans ce secteur. Ce n'est là qu'un des nombreux problèmes pour lesquels il reste à trouver une bonne solution.

## References / Références

**CORS - SCRO 2000 ANNUAL CONFERENCE**  
**Energy, Natural Resources, and the Environment**  
MAY 29-31, 2000  
EDMONTON, ALBERTA

1. M. Ajmoni Marsan, G. Balbo, G. Conte, S. Donatelli and D. Franceschinis. 1995. Modelling with Generalized Stochastic Petri Nets. John Wiley & Sons, New York.
2. M. L. Chaudhry. 1992. QPACK Software Package. A&A Publications, 395 Carrie Crescent, Kingston, Ontario.
3. M. L. Chaudhry. 1992. QROOT Software Package. A&A Publications, 395 Carrie Crescent, Kingston, Ontario.
4. J. N. Daigle and D. M. Lucantoni, 1991. Queueing Systems Having Phase-Dependent Arrival and Service Rates. In: W. J. Stewart, editor. 1991. Numerical Solutions of Markov Chains, Marcel Dekker, New York, pages 179-215.
5. H. R. Gail, S. L. Hantler and B. A. Taylor, 1999. Use of Characteristic Roots for Solving Infinite State Markov Chains. In: W. K. Grassmann, editor. Computational Probability, Kluwer Academic Publishers, 101 Philip Drive, Assinippi Park, Norwell, MA 02061, pages 205-254.
6. W. Grassmann, 1991. Finding Transient Solutions in Markovian Event Systems Through Randomization. In: W. J. Stewart, editor. Numerical Solutions of Markov Chains, Marcel Dekker, New York, pages 357-371.
7. W. K. Grassmann, 1988. Finding the Right Number of Servers in Real World Queueing Systems. Interfaces 18(2): 94-104.
8. W. K. Grassmann and S. Drekić, 1999. An Analytic Solution of a Tandem Queue with Blocking. Preprint.
9. W. K. Grassmann and D. P. Heyman, 1990. Equilibrium Distributions of Markov Chains with Repeating Rows, Journal of Applied Probability 27: 557-576.
10. W. K. Grassmann and D. A. Stanford, 1999. Matrix Analytic Models. In: W. K. Grassmann, editor. Computational Probability, Kluwer Academic Publishers, 101 Philip Drive, Assinippi Park, Norwell, MA 02061, pages 153-203.
11. W. K. Grassmann, M. I. Taksar and D.P. Heyman, 1985. Regenerative Analysis and Steady State Distributions for Markov Chains, Operations Research 33(5): 1107-1116.
12. Greenbaum. 1997. Iterative Methods for Solving Linear Systems, SIAM, Philadelphia.
13. H. Kobayashi, 1978. Modelling and Analysis: An Introduction to System Performance Evaluation Methodology, The Systems Programming Series, Addison Wesley, Reading, MA.
14. P. Kolesar, 1979. A Quick and Dirty Response to a Quick and Dirty Crowd: Particularly to Jack Byrd's "The Value of Queueing Theory". Interfaces 9(2): 77-82.
15. R. Larson, 1987. Perspectives on queues: Social Justice and the Psychology of Queueing, Operations Research 35(6): 858-905.
16. I. Mitrani and R. Chakka, 1995. Spectral Expansion Solution for a class of Markov Models, Applications and Comparisons with Matrix-Geometric Methods, Performance Evaluation 23(3): 241-260.
17. M. F. Neuts. 1981. Matrix-Geometric Solutions in Stochastic Models, An Algorithmic Approach, Johns Hopkins University Press, Baltimore.
18. M. F. Neuts. 1989. Structured Stochastic Matrices of M/G/1 Type and Their Applications. Marcel Dekker, New York.
19. R. A. Sahner, K. S. Trivedi and A. Puliafito. 1995. Performance and Reliability Analysis of Computer Systems Using the SHARPE Software Package. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.

20. D. A. Stanford and W. K. Grassmann, 1993. The Bilingual Server Model: A Queueing Model Featuring Fully and Partially Qualified Servers. *INFOR* 31(4): 261-277.
21. W. J. Stewart. 1994. *An Introduction to the Numerical Solution of Markov Chains*. Princeton University Press, New Jersey.
22. *UltraSAN User's Manual*. 1995. Center for Reliable High-Performance Computing, Coordinated Science Library, University of Illinois at Urbana-Champaign.
23. N. Viswanadhan and Y. Nahari, 1992. *Performance Modelling of Automatic Manufacturing Systems*. Prentice Hall, Englewood Cliffs.
24. Y. Q. Zhao, W. Li and W. Braun, 1998. Infinite Block-Structured Transition Matrices and Their Properties. *Adv. Appl. Prob.* 30: 365-384.

## The CORS Membership Survey Is Here!

Express your views about your society through the CORS Survey. It takes only a few minutes to complete but will provide valuable input to the society. Make copies and pass it to other OR/MS colleagues that may not be members of CORS. We want to know their needs also so we can attract new members. A reply by September 15, 1999 would be much appreciated although late entries will also be considered. Thank you.

## Elected Members to the 1999/2000 Council

Congratulations go out to the following members who were elected at the AGM to the 1999/2000 CORS Council:

Bernard Lamond – Vice President (President Elect)  
Evelyn Richards – Secretary  
John Blake – Treasurer  
Winfried Grassmann – Councillor (1999/2001)  
Bill Hurley – Councillor (1999/2001)

## New Section Presidents

Several local sections have recently acquired new presidents. They are:

Calgary Section – Maurice Elliott  
Saskatoon Section – Winfried Grassmann  
Toronto Student Section – Burcu Anadol  
Vancouver Student Section – Claire Lin

The list of all current section presidents is given on page 3 of this issue.

## CORS / SCRO Financial Statements

The next two pages contain the financial statements presented by John Blake, CORS Treasurer, at the Annual General Meeting, June 8, 1999, Windsor, Ontario.

**CORS - SCRO 2000 ANNUAL CONFERENCE**  
***Energy, Natural Resources, and the Environment***  
MAY 29-31, 2000  
EDMONTON, ALBERTA

**1999-2000 Budget****I. Receipts**

Balance of 1998/1999 Dues	5,500	
1999/2000 Dues	13,000	
Conference Advance Repayment (Windsor)	4,000	
Conference Profit	50,000	
SSHRC Conference Attendance Grant	7,125	
Ties	250	
Interest Earned	4,000	
		<b>\$83,875</b>
<b>Total Receipts</b>		

**II. Expenses**

Administrative Expenses	8,500	
Bulletin	8,000	
Translation Services	3,600	
Conference Travel	7,125	
Council Meeting Travel	7,000	
Section Share of Dues*	2,500	
Advance to Conference (Quebec)	4,000	
INFOR Journal	10,500	
IFORS Subscription	1,000	
Awards	3,400	
Grants to Student Sections	1,000	
Section Share of Conference Profit	3,550	
Travelling Speaker Program/CORS Events	3,000	
GST*	1,000	
Bank Charges	100	
		<b>\$ 64,275</b>
<b>Total Expenses</b>		

**III. Balances**

Opening Balance for 1999/2000	\$	<b>81,838</b>
Plus: Expected Receipts During 1999/2000	\$	<b>83,875</b>
Less: Expected Expenses During 1999/2000	\$	<b>64,275</b>
Expected Closing Balance for 1999/2000	\$	<b>101,438</b>

John Blake, National Treasurer, CORS  
June 3, 1999

**CORS - SCRO 2000 ANNUAL CONFERENCE**  
**Energy, Natural Resources, and the Environment**  
MAY 29-31, 2000  
EDMONTON, ALBERTA

**Balance Sheet (1998 - 1999) as of Mar 31/99**

**III. Opening Bank Balances 1998/1999**

Current Account	14,629.75
RBC Dominion Securities	74,774.39
RB RoyFund	8,541.33

A.	Opening Bank Balance	<b>\$97,945.47</b>
	Less: Cheques not on statements:	<b>\$ 3,822.22</b>
	Plus: Deposits not on statements:	<b>\$ 1,085.00</b>
	Opening Balance for 1998/1999:	<b>\$95,208.25</b>

**IV. Closing Bank Balance 1998/1999**

Current Account	20,498.30
RBC Dominion Securities	57,586.70
RB RoyFund	0.00
RBC GIC	6,000.00

B.	Total Closing Bank Balance	<b>\$ 84,085.00</b>
	Less: Cheques not on statements:	<b>\$ 4,833.76</b>
	Plus: Receipts not on statements:	<b>\$ 213.95</b>
	Closing Balance for 1998/1999:	<b>\$ 79,465.19</b>

**V. Reconciliation**

C.	Opening Balance for 1998/1999	<b>\$ 95,208.25</b>
	Plus: Receipts During 1998/1999	<b>\$ 39,684.45</b>
	Less: Expenses During 1998/1999	<b>\$ 53,054.91</b>
D.	Closing Balance for 1998/1999	<b>\$ 81,837.79</b>

John Blake, National Treasurer, CORS  
May 16, 1999

**CORS - SCRO 2000 ANNUAL CONFERENCE**  
**Energy, Natural Resources, and the Environment**  
MAY 29-31, 2000  
EDMONTON, ALBERTA



## 1998/1999 CORS Award Winners

Congratulations to the following winners of our various awards and prizes. Special thanks to all the participants and also to the judges of the Practice and Student Prize Competitions who worked very hard to make this event in Windsor such a success. For those of you who didn't attend the Student Paper Prize Session, be sure to read the upcoming articles based on the two award-winning papers. More details on all CORS awards and prizes, including a complete list of past winners, can be found at our WWW site.

<b>The Larnder Lecturer</b>	Harvey J. Greenberg, University of Colorado
<b>The CORS Award of Merit</b>	Winfried Grassmann, University of Saskatchewan <i>"For his many contributions to Queueing and Markov Chain Theory, Application, Analysis and Optimization in Academia and Industry, as well as for numerous services rendered to the O.R. community in Canada and abroad."</i>
<b>The Omond Solandt Award</b>	Dofasco <i>"For their significant contributions and ongoing commitment to Research and Development in Operational Research."</i>
<b>The CORS Service Award</b>	Roger L. Roy, Ottawa Section Michel G. Goulet, Quebec Section Cradock Spence, Calgary Section
<b>The CORS Student Paper Prize</b>	<u>Winner in the Open Competition:</u> Jason H. Goto, "A Markov Decision Process Model for Airline Meal Provisioning".  <u>Honourable Mention in the Open Competition:</u> Jinliang Cheng, George Steiner and Paul Stephenson, "A Fast Algorithm to Minimize Makespan for the Two-Machine Flow-Shop Problem with Release Dates".  <u>Winner in the Undergraduate Competition:</u> Chris Goodwin, Joanne Kok and Steve Kabanuk, "TAU Utilities: Speciality Crew Location".  <u>Honourable Mention in the Undergraduate Competition:</u> Laura Morrison, Les Stelmach and Mark Gannon, "Locating a Meat Processing Plant in the Prairies".

## 1999 CORS Practice Prize Competition

The Canadian Operational Research Society (CORS) is extremely pleased to announce the winners of the 1999 CORS Practice Prize Competition, held on June 8<sup>th</sup> at the CORS Annual Conference in Windsor, Ontario. The first prize, which includes a certificate and cash award of \$1200, was given to the team of Claude Berger, Fabien Chauny, André Langevin, Richard Loulou, Diane Riopel, Gilles Savard, Jean-Philippe Waaub, and Agnès Wisere from GERAD (Groupe d'études et de recherche en analyse des décisions) of Montreal for their paper "EUGENE: An Optimization based Decision Support System for Long Term Integrated Regional Solid Waste Management Planning. A second prize and honourable mention, which is accompanied by a \$600 cash prize and certificate, was given to the team of Karl Walters, Ugo Feunekes, Andrew Cogswell, and Eric Cox from Remsoft Inc. of Fredericton, New Brunswick for their paper "A Forest Planning System for Solving Spatial Harvest Scheduling Problems".

<p align="center"><b>CORS - SCRO 2000 ANNUAL CONFERENCE</b> <b>Energy, Natural Resources, and the Environment</b> MAY 29-31, 2000 EDMONTON, ALBERTA</p>
---

Congratulations to all for the excellent papers and presentations in Windsor. Abstracts of these two papers are provided below. For information on future competitions, including Edmonton 2000, please consult the CORS/SCRO web site at [www.cors.ca](http://www.cors.ca) or send queries by e-mail to the competition chair.

Paul Comeau  
Chair, CORS Practice Prize Competition  
[pcomeau@ora.dnd.ca](mailto:pcomeau@ora.dnd.ca)

### **1st Place Winner:**

EUGÈNE: Un système d'aide à la décision pour la planification à long terme de la gestion intégrée des déchets domestiques (*An Optimization-based Decision Support System for Long Term Integrated Regional Solid Waste Management Planning*), Berger et al.

#### **ABSTRACT**

This paper describes a decision support system based on a sophisticated mixed integer linear programming model, EUGENE, developed to help the regional decision makers in the long-term planning of the solid waste management activities. The model circumvents most of the limitations of current and earlier integrated waste management models. The paper focuses on these particular capabilities. Results illustrating those capabilities are presented for a real-world application and some directions for future developments are also given.

### **Honorable Mention:**

A Forest Planning System for Solving Spatial Harvest Scheduling Problems, Walters et al.

#### **ABSTRACT**

Spatial harvest scheduling at the forest level is a daunting task. Apart from the sheer amount of data involved and the lingering effect of past activities, the problem is distinguished by contrasting temporal and spatial scales, complicated by disparate planning objectives at each level of planning. In this report we provide a case history of how one forest agency faced with the Sustainable Forestry Initiative guidelines adopted the system to assist them in their spatial harvest scheduling.

# A Markov Decision Process Model for Airline Meal Provisioning

by

**Jason Goto, University of British Columbia**

*<This article is based on the award-winning paper in the 1999 Student Paper Prize Competition>*

## **ABSTRACT**

An airline caterer seeks to provide a meal quantity for each flight that closely matches final on-board passenger load. Faced with preparation lead-time, the caterer must estimate required meal quantities well in advance of departure. Passenger load may vary considerably during this lead-time. Thus, adjustments are often required as more information becomes available.

We describe the application of a Markov decision process to the meal ordering process in an attempt to identify ordering policies that outperform actual practice. Marginal improvements in overage and shortage are achieved with the model: overage costs are reduced by approximately 17% and the proportion of flights short-catered are reduced by 33%. In addition, we evaluate the model over a range of scenarios to determine the costs associated with achieving a low proportion of short-catered flights.

## **INTRODUCTION**

The passenger airline industry operates on low profit margins with many competitors. Airline carriers sustain profitability through operational efficiency improvements and by maintaining or increasing market share.

Classic applications of Operations Research in the airline industry include yield management, route selection, and optimization of flight and maintenance schedules. Other applications include crew scheduling, analysis of customer demand, and fuel consumption control. The majority of these applications focus on operations central to the airline.

In the current competitive environment, some carriers are attempting to generate savings through efficiency improvements in their periphery operations. Savings generated from increased efficiency may be directed toward improving customer service. Inflight meal provisioning is one such area worthy of pursuit as it involves high volumes and significant costs, and has direct impact on customer service.

The results and methodology described in this document are the result of an applied industry research project involving the Centre for Operations Excellence (COE) and Canadian Airlines International Ltd. The COE provides business solutions to industry problems that require specialized research capabilities, through the Faculty of Commerce at the University of British Columbia.

## **INFLIGHT CATERING**

Inflight meal catering refers to the provisioning of a meal service for each passenger during a flight. This service is typical of long duration flights. The complexity of the meal service varies by class of passenger service and flight destination.

## Un modèle de décision markovien pour le service des repas à bord des avions

par

**Jason Goto, l'Université de Colombie-Britannique**

<Ce texte s'inspire de l'article primé au Concours du meilleur étudiant de la SCRO 1999>

### RÉSUMÉ

Un service de restauration qui approvisionne des transporteurs aériens en repas souhaite fournir pour chaque vol une quantité de repas qui corresponde le plus possible au nombre final de passagers à bord. Obligé de tenir compte du délai d'exécution, le service de restauration doit estimer la quantité de repas bien avant le départ. Or, le nombre de passagers varie parfois considérablement durant ce délai d'exécution. Par conséquent, l'entreprise doit souvent rectifier la quantité estimée au fur et à mesure que lui sont fournies des données additionnelles.

Dans le présent article, nous décrivons l'application d'un processus de décision markovien au processus de commande des repas en vue de définir des politiques de commande permettant d'obtenir un rendement supérieur aux pratiques actuelles. Le modèle permet d'enregistrer des améliorations marginales en matière de surplus et de manquants : les coûts liés aux surplus baissent d'environ 17 % et la proportion de vols comportant des manquants est réduite de 33 %. Nous évaluons également le modèle dans divers scénarios afin de déterminer les coûts associés à une faible proportion de vols comportant des repas manquants.

### INTRODUCTION

L'industrie du transport aérien de passagers est un secteur très concurrentiel où les marges bénéficiaires sont très faibles. Pour maintenir leur rentabilité, les transporteurs aériens doivent augmenter leur efficacité opérationnelle et conserver ou accroître leur part du marché.

Parmi les applications traditionnelles de la recherche opérationnelle utilisées dans le secteur du transport aérien, on retrouve la tarification en temps réel, la sélection des itinéraires et l'optimisation des horaires de vol et des programmes d'entretien. D'autres applications incluent l'affectation des équipages, l'analyse de la demande de la clientèle et la gestion de la consommation de combustible. La plupart de ces applications se rapportent à des opérations centrales des transporteurs aériens.

Dans le marché concurrentiel actuel, certains transporteurs essaient de réaliser des économies en augmentant l'efficacité de leurs opérations périphériques. Les sommes économisées grâce à cette efficacité accrue peuvent ainsi être utilisées pour améliorer le service à la clientèle. La fourniture des repas fait partie de ces opérations qu'il est intéressant d'explorer car non seulement il engage des volumes importants et des coûts considérables, mais il a une incidence directe sur le service à la clientèle.

Les résultats et la méthodologie exposés dans ce document sont le produit d'un projet de recherches appliquées en industrie auquel ont participé le Centre for Operations Excellence (COE) et Canadien International Ltée. Le COE est un organisme qui fournit, par l'entremise de la faculté de commerce de l'université de Colombie-Britannique, des solutions commerciales pour des problèmes de l'industrie qui font appel à des méthodes de recherche spécialisées.

At several key decision points, prior to the departure of a flight, the final passenger load is estimated and the meal order is adjusted accordingly. Typically, the caterer may access information concerning tickets sold, passengers checked in, and the number of stand-by passengers. The final passenger load estimate is based on this information and the personal judgement of the catering staff. The estimation, monitoring, and adjustment of the required meal quantity is referred to as *meal ordering*.

Excess costs are incurred when the meal quantity on the aircraft exceeds the passenger load. Furthermore, customer service costs are incurred when the meal quantity is lower than the passenger load. Excess provisioning is referred to as *overage* and short-provisioning is referred to as *shortage*. The caterer seeks to provide a meal quantity that closely matches the passenger load at departure.

## THE PROBLEM

The solution to the problem appears to be trivial: simply observe the number of tickets sold for a given flight and provision a meal quantity accordingly. We invested considerable effort early in the project to develop an understanding of the processes, stakeholders, data, and costs associated with meal provisioning. As a result, we developed a good appreciation of the problem, and found that the process of meal ordering was challenging due to two basic reasons:

1. Significant lead time is required to produce a meal order. Meal provisioning involves preparation, cooking, assembling, chilling, and transporting the meal order, and in some airports, large flights depart within minutes of each other.
2. The passenger load may vary considerably within the lead time. Last minute ticket purchases, missed flights, stand-by passengers, and upgrade coupons all contribute to variability in passenger load.

In this project we attempt to address the following problem statement: *Given the information available and the current processes, can the variability in meal provisioning be reduced?* Reducing variability in meal provisioning would simultaneously reduce overage and shortage. Our approach was to model the meal ordering process as a finite-horizon discrete-time Markov decision process (MDP) on a flight by flight basis. A Markov decision process is a sequential decision problem where the set of actions, rewards, and transition probabilities depend only on the current state of the system and the current action selected. The history of the problem has no effect on the current decisions. Markov decision processes are commonly applied in inventory control settings where demand for a product follows a known (or estimated) probability distribution.

## METHODOLOGY

For each flight that requires a meal order, the caterer is faced with a series of decisions. The caterer must estimate the initial quantity of meals to build, and later decide whether to adjust the order as more information becomes available. Figure 1 depicts a generalization of the timeline preceding the departure of a flight.

Note that there are five opportunities to set or adjust the meal order quantity before the flight departs. Costs and penalties are imposed depending on the time of the adjustment. For example, a fixed van delivery charge is incurred on any adjustments that occur after the meal order has been delivered to the aircraft.

## SERVICE DE REPAS EN VOL

Par service de repas en vol, on entend la fourniture de repas pour chaque passager durant un vol. Ce service est habituellement offert sur les long-courriers. La complexité du service des repas varie en fonction de la classe de passagers et de la destination du vol.

À plusieurs points de décision clés, avant le départ d'un vol, on estime le nombre final de passagers et on rectifie la commande de repas en conséquence. Généralement, le fournisseur peut avoir accès à des données concernant le nombre de billets vendus, les passagers enregistrés et le nombre de passagers en attente. L'estimation du nombre final de passagers est fondée sur les données et sur le jugement du personnel du service de restauration. L'estimation, la vérification et la rectification de la quantité de repas requise constituent ce qu'on appelle la *commande de repas*.

Si la quantité de repas à bord excède le nombre de passagers, cela entraîne des coûts supplémentaires. Par ailleurs, quand la quantité de repas est inférieure au nombre de passagers à bord, il y a des coûts associés au service à la clientèle. Le *surplus* est un approvisionnement excédentaire et le *manquant*, un approvisionnement déficitaire. Le fournisseur souhaite produire une quantité de repas qui corresponde le plus possible au nombre de passagers présents au moment du départ.

## LE PROBLÈME

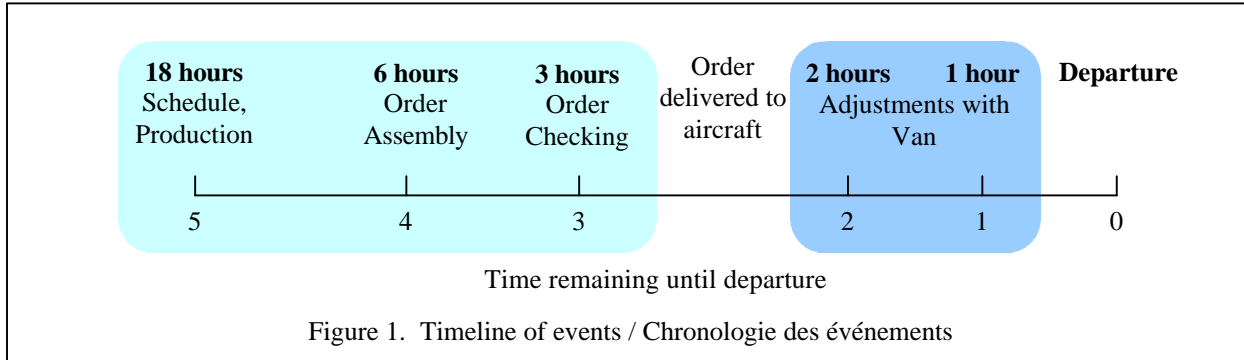
À première vue, ce problème paraît simple à résoudre : il suffit de déterminer le nombre de billets vendus pour un vol donné et de fournir la quantité de repas en conséquence. Dès le début du projet, nous avons voulu avoir une idée précise des procédés, des intervenants, des données et des coûts associés à la fourniture des repas. Ayant ainsi bien cerné le problème, nous avons constaté que la commande de repas était une tâche délicate pour deux raisons fondamentales :

1. Il faut prévoir un important délai d'exécution pour produire une commande de repas. La fourniture des repas inclut la préparation, la cuisson, le montage, le refroidissement et le transport de la commande, et dans certains aéroports, les gros vols partent à quelques minutes d'intervalle les uns des autres.
2. Le nombre de passagers peut varier considérablement durant ce délai d'exécution. Les achats de billets de dernière minute, les personnes qui ratent leur vol, les passagers en attente et les certificats de surclassement, voilà autant de facteurs qui contribuent à la variabilité du nombre de passagers.

Dans le cadre de ce projet, nous avons formulé l'énoncé de problème suivant : *Compte tenu des données disponibles et des procédés en vigueur, comment peut-on réduire la variabilité de l'approvisionnement en repas?* Si l'on réduit la variabilité de l'approvisionnement en repas, on diminuera en même temps les surplus et les manquants. Nous avons choisi de modéliser le processus de commande des repas sous la forme d'un processus de décision markovien en temps discret à horizon fini (MDP) pour chaque vol. Un processus de décision markovien est un problème de décision séquentiel où l'ensemble des actions, des gains et des probabilités de transition dépendent uniquement de l'état actuel du système et de l'action actuelle choisie. Les données historiques du problème n'ont aucune incidence sur les décisions actuelles. On utilise fréquemment les processus de décision markoviens pour la gestion de stock dans les cas où la demande pour un produit suit une fonction de probabilités connue (ou estimée).

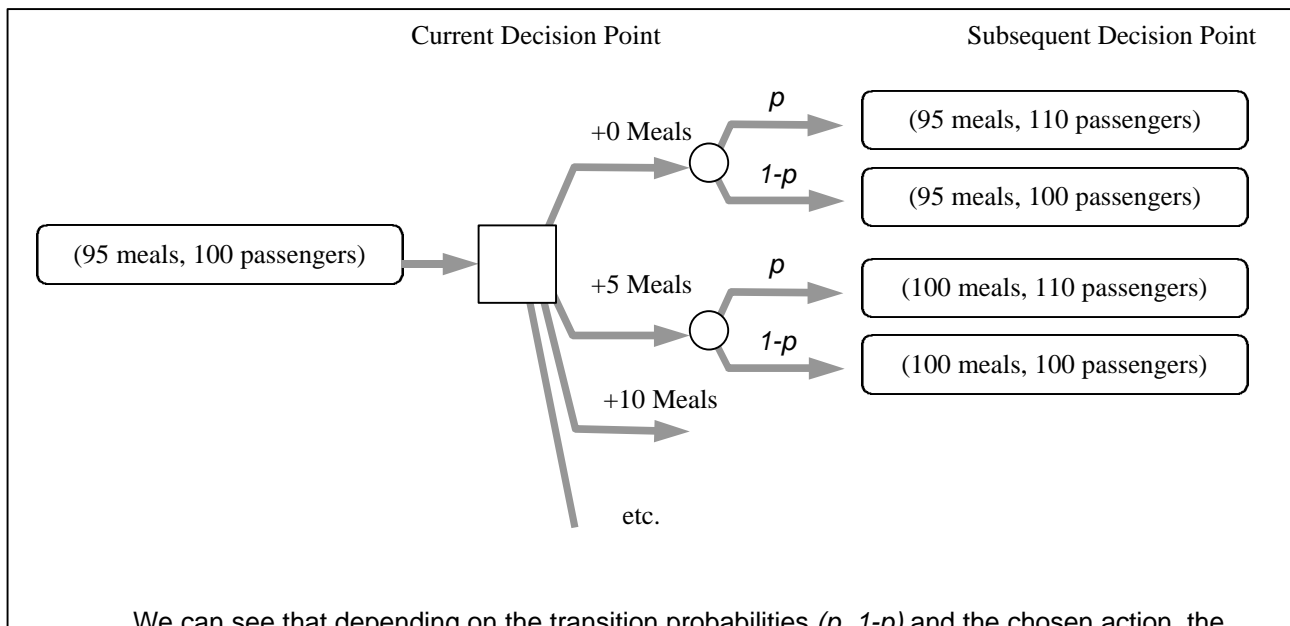
## MÉTHODOLOGIE

Pour chaque vol nécessitant une commande de repas, le fournisseur doit prendre une série de décisions. Il doit estimer la quantité initiale de repas à préparer et déterminer plus tard s'il doit rectifier la commande à mesure qu'il a accès à des données plus précises. La figure 1 (à la page 23) décrit une généralisation de la chronologie des événements précédant le départ d'un vol.



In formulating the meal ordering process as an MDP, we represent the states of the model as all possible combinations of booked passenger load and meal quantities. We can choose actions to move between states. For example, if the current state of the system is 95 meals and 100 booked passengers, we may choose to adjust the meal order quantity to 100 meals. This adjustment of +5 meals is an action. However, we may expect the booked passenger load to increase by 10 passengers with a probability  $p$ , or stay the same with a probability of  $1-p$ . Such a system is depicted in Figure 2.

Figure 2. A simplified one-stage decision problem / Un problème de décision à une étape



We can see that depending on the transition probabilities ( $p, 1-p$ ) and the chosen action, the system will arrive in a certain state for the following decision point. Each action has an associated cost, where a reward is represented by a negative cost. The decision maker chooses the action that results in the minimum expected cost, based on the transition probabilities. This example describes a simplified instance of a single stage problem. To better represent the meal ordering process, we consider all possible states, actions and transition probabilities. A Markov decision process evaluates the problem over the entire decision-making horizon (five stages), and identifies the actions that minimize expected cost, given the state of the system, and the decision stage. The optimal order adjustments tables are referred to as *decision rules*, and the collection of all decision rules is referred to as a *policy*. A decision rule is created for each decision point in the timeline.

On notera que le fournisseur peut en cinq occasions déterminer ou rectifier la quantité de la commande de repas avant le départ du vol. Les coûts et les pénalités sont calculées en fonction du

moment où est apportée la rectification. Par exemple, des frais fixes de livraison par camion sont facturés pour toute rectification apportée après que la commande de repas a été livrée à l'avion.

En exprimant le processus de commande des repas sous la forme d'un processus de décision markovien, nous représentons les états du modèle comme étant toutes les combinaisons possibles du nombre de passagers enregistrés et de quantités de repas. On peut choisir des actions pour se déplacer entre les états. Par exemple, si l'état actuel du système est de 95 repas et 100 passagers enregistrés, on peut décider de faire passer la commande de repas à 100 repas. Cette rectification de +5 repas est une action. Cependant, on peut s'attendre à ce que le nombre de passagers enregistrés augmente de 10 passagers avec une probabilité  $p$ , ou qu'il reste le même avec une probabilité de  $1-p$ . Ce système est illustré à la figure 2 (à la page 23).

On constate que selon les probabilités de transition ( $p$ ,  $1-p$ ) et l'action choisie, le système arrivera dans un certain état pour le point de décision suivant. À chaque action est associée un coût, et tout gain est représenté par un coût négatif. Le décideur choisit l'action qui occasionne le plus bas coût prévu, en fonction des probabilités de transition. Cet exemple décrit le cas simplifié d'un problème à une seule étape. Pour mieux représenter le processus de commande des repas, nous étudions tous les états, actions et probabilités de transition possibles. Un processus de décision markovien évalue le problème pour l'ensemble de l'horizon de prise de décision (cinq étapes) et détermine les actions qui réduisent les coûts prévus au minimum, compte tenu de l'état du système et de l'étape de décision. Les tables de rectification optimale des commandes s'appellent des *règles de décision* et toutes ces règles de décision sont regroupées sous le nom de *politique*. On crée une règle de décision pour chaque point de décision dans la chronologie des événements.

À partir du nombre de passagers enregistrés avant le départ indiqué dans les données historiques de Canadien International, nous avons produit les probabilités de transition pour un vol à la fois. Nous avons cherché à déterminer les paramètres appropriés pour la modélisation des fonctions de probabilités du changement du nombre de passagers entre les points de décision. Nous avons ensuite appliqué les coûts et les pénalités sur les repas, conformément aux renseignements obtenus lors de nos discussions avec les responsables des services à bord et aux données recueillies à partir des données historiques de facturation.

Pour mettre à l'essai la validité de la politique, nous retenons une partie des données précédant le départ. Par conséquent, une partie des données est utilisée pour l'élaboration des probabilités de transition, ce qui permet de produire une politique optimale. Nous appliquons cette politique optimale aux données retenues et comparons le rendement des politiques optimales avec le rendement réel. Nous mesurons le rendement en l'exprimant sous la forme d'une *erreur d'approvisionnement*, qui correspond à la quantité finale de repas moins le nombre de passagers au départ, calculé sur la base de la fréquence du vol (par exemple, quotidiennement pour chaque numéro de vol). Une erreur d'approvisionnement positive correspond à un surplus et une erreur d'approvisionnement négative correspond à un manquant.



Using the pre-departure booked passenger load obtained from Canadian Airlines historical tables, we generated the transition probabilities on a flight-by-flight basis. Significant effort was spent in identifying appropriate parameters for modelling the probability distributions of change in passenger load between decision points. We then applied meal costs and penalties as described in discussions with Inflight Service staff and based on data collected from historically billed information.

To test the validity of the policy, we holdback a portion of the pre-departure data. Thus, a portion of the data is used for developing the transition probabilities, thereby producing an optimal policy. We apply this optimal policy to the held back data, and compare the performance of the optimal policies to the performance observed in actual practice. We measure performance in terms of *provisioning error*, which is final meal quantity minus passenger load at departure, calculated on a flight instance basis (i.e. daily for each flight number). Positive provisioning error represents overage and negative provisioning error represents shortage.

All analysis was conducted on data spanning from December 1998 to January 1999 inclusive. Ten months of the data were used for developing the transition probabilities, and the remaining two months of data were used as a validation dataset.

## RESULTS

The model was evaluated over a sample of 55 flight routes and the performance of the ordering policies were observed. During initial testing and evaluation, it became evident that the terminal cost associated with short-catering played a large role in the behavior of the policy. A low terminal cost resulted in an ordering policy biased towards shortage, whereas a high terminal cost resulted in an ordering policy biased towards overage. We evaluated the model over a range of terminal costs and chose the terminal cost that most closely matched current practice.

The optimal policies were applied to the test dataset and the distribution of provisioning error was compared to the distribution of provisioning error observed in actual practice. Surprisingly, in many cases current meal ordering performance was close to optimal. This may indicate that the meal ordering staff exercise good judgement, and/or the meal ordering staff have access to information unavailable to the model.

The optimal policies provide some encouraging results. In the sample group, it was estimated that application of the optimal policies would result in a savings of 17% in overage costs. In addition, the proportion of flights short-catered would simultaneously drop by 33%. Thus, savings are generated while improving service level of the operations.

In addition, the model allows us to evaluate the expected cost of various levels of performance. Using the model, we were able to estimate the cost associated with zero short-catering on flights departing from the Vancouver station. This result or other scenarios may be useful in determining how much to invest in improving the processes to achieve a desired level of service.

## CONCLUSION

Given the current processes and information available, it is possible to marginally reduce the variability in meal provisioning. While the Markov decision process model does not drastically improve meal ordering performance, we may obtain modest gains in cost savings and service level. The model provides Canadian Airlines with a reference point for their current meal provisioning performance, as well as enables them to estimate the costs associated with improving their service level. Furthermore, the model may be used for scenario analysis, as it is easily adaptable to changes in business practices or cost structures.

Toute l'analyse a été faite à partir de données recueillies de décembre 1998 à janvier 1999 inclusivement. On a utilisé dix mois de données pour élaborer les probabilités de transition et les données des deux autres mois comme ensemble de données de validation.

## RÉSULTATS

Nous avons évalué le modèle pour un échantillon de 55 destinations aériennes et avons observé la performance des politiques de commande. Au cours des essais initiaux et de l'évaluation, il est devenu apparent que les frais terminaux associés à une commande déficitaire jouaient un rôle important dans le comportement de la politique. Lorsque le coût terminal était faible, la politique de commande avait tendance à produire un manquant alors que dans le cas d'un coût terminal élevé, la politique de commande tendait vers des surplus. Nous avons évalué le modèle pour une série de coûts terminaux et avons choisi le coût terminal qui se rapprochait le plus de la situation réelle.

Les politiques optimales ont été appliquées aux données d'essai et on a comparé la distribution de l'erreur d'approvisionnement à la distribution de l'erreur d'approvisionnement réelle. Étonnamment, dans bon nombre de cas, la performance du processus de commande des repas était presque optimale. Cela semble indiquer que le personnel responsable de la commande des repas a un bon jugement ou qu'il a accès à des données non accessibles au modèle.

Les politiques optimales fournissent certains résultats encourageants. Dans un échantillon, nous avons estimé que l'application des politiques optimales permettrait de faire des économies de 17 % sur les coûts associés aux surplus. En outre, la proportion de vols comportant des manquants chutait en même temps de 33 %. Par conséquent, on réalise des économies tout en améliorant le niveau de service.

De plus, le modèle nous permet d'évaluer le coût prévu des divers niveaux de performance. Le modèle nous a permis d'estimer le coût associé à un scénario suivant lequel il n'y a aucun manquant sur les vols depuis Vancouver. Ce résultat ou d'autres scénarios peuvent être utiles pour déterminer quelles sommes engager dans l'amélioration des processus en vue d'atteindre le niveau de service souhaité.

## CONCLUSION

Compte tenu des processus et des données actuels, il est possible de réduire marginalement la variabilité du système d'approvisionnement en repas. Même si le modèle de décision markovien n'améliore pas considérablement la performance de la commande des repas, on réalise des gains modestes sur le plan des sommes économisées et du niveau de service. Le modèle fournit à Canadien un point de référence pour évaluer la performance de son système actuel d'approvisionnement en repas et il lui permet d'évaluer les coûts associés à l'amélioration de son niveau de service. En outre, on peut utiliser le modèle pour analyser des scénarios, puisqu'il s'adapte facilement aux fluctuations des pratiques commerciales et des structures de coûts.

## Logistics Analyst Canada Post Corporation

### Job responsibilities

- Conduct studies of CPC's domestic and international mail logistics operations to determine potential improvements
- Apply quantitative thinking and techniques, especially computerized, mathematical modelling/simulation, to mail logistics problems
- Teach others how to do the same

### Qualifications

- Degree in Business/Mathematics/Operational Research/Logistics/Engineering with logistics-related content and relevant work experience
- Skills in problem-solving, computer modelling/simulation, statistical analysis, project planning and control, teamwork
- Interpersonal and communication abilities
- Demonstrated interest in this kind of work

Language: English essential, French desirable

Work Location: OTTAWA - Head Office

Salary: \$43,000 - \$50,000

Closing Date for Applications: September 3, 1999

Apply to: Eric Desjardins, Human Resources  
Canada Post Corporation N0030  
2701 Riverside Drive  
Ottawa ON K1A 0B1

Canada Post is committed to the principles of Employment Equity and encourages applications from designated groups. Candidates from designated groups are further encouraged to self-identify through their application. This information will be used for the selection purpose only.

## Analyste en logistique Société canadienne des postes

### Responsabilités du poste

- Analyser les opérations logistiques du courrier intérieur et international de la SCP afin de définir des perspectives d'amélioration
- Appliquer des méthodes et une approche quantitatives, principalement la modélisation et la simulation mathématique sur ordinateur, à des problèmes de logistique du courrier
- Enseigner ces techniques aux autres

### Compétences requises

- Diplôme en commerce, en mathématiques, en recherche opérationnelle, en logistique ou en ingénierie avec spécialisation en logistique jumelé à une expérience de travail pertinente
- Résolution de problèmes, modélisation et simulation sur ordinateur, analyse statistique, planification et contrôle de projet, travail en équipe
- Aptitudes interpersonnelles et facilité à communiquer
- Intérêt marqué pour ce type de travail

Langue : Anglais. La connaissance du français serait un atout

Lieu de travail : Siège social - OTTAWA

Échelle salariale : 43 000 \$ à 50 000 \$

La date limite pour la réception des candidatures est le 3 septembre 1999

Appliquez à : Eric Desjardins, Human Resources  
Canada Post Corporation N0030  
2701 Riverside Drive  
Ottawa ON K1A 0B1

Postes Canada souscrit au principe d'équité en matière d'emploi et invite les membres de groupes désignés à présenter leur candidature. Nous encourageons par ailleurs ces personnes à préciser dans leur demande d'emploi qu'elles font partie des groupes désignés. Ce renseignement sera utilisé aux seules fins de la sélection.

## Locating Specialty Crews

by Chris Goodwin, Joanne Kok and Steven Kabanuk  
University of Alberta

*<This article is based on the award-winning paper in the 1999 Student Paper Prize Competition>*

### INTRODUCTION

TransAlta Utilities (TAU) is an energy company serving approximately 350,000 customers in an area of 212,000 square kilometers. TAU is Canada's largest investor-owned electric utility. TAU's competitive environment is changing due to the deregulation of Alberta's electric utility market, creating a need for greater operational efficiency. TAU operates seven highly-trained 4-man crews called "specialty crews" located throughout the province. TAU asked us to answer questions about their specialty crews – specifically, the number of specialty crews that they should be operating, the location of the specialty crews, and the opportunity for cost savings.

### PROBLEM

TAU needs to know how many specialty crews it should be operating, where each crew should be located, their appropriate service regions, and the instances when it would be beneficial to outsource work. They were also interested in determining the cost of equitable workload distribution between crews. As an alternative, TAU could vary crew sizes or even set up temporary seasonal crews to handle fluctuations in the workload.

TAU's decision-making process is challenging due to specific operational constraints. There are high costs associated with changes in the crew configuration. The crew bases are not completely mobile since they are a permanent location for vehicle and equipment storage. Keeping crews constantly on the road at work will also result in low employee morale. The minimum crew sizes are also fixed for practical operational purposes and in order to adhere to internal labor policies and safety regulations enforced by the Electrical and Communication Utility Systems Regulation.

As previously mentioned, TAU management would like to focus on hotline work, however, seasonal variations in demand dictate that the crews must often pick up other operations type work as filler to maximize their value to TAU. Hotline work, which is the primary focus of these crews, is highly dependent on several economic factors such as the activity in the oil patch. Therefore, analysis of a variety of scenarios is necessary to make decisions that will take into account variations in external market factors.

### PROJECT OBJECTIVES AND SCOPE

TAU's primary objective for this project was to obtain a decision methodology that would enable its managers to evaluate the specialty crews' service network configuration and performance several times annually. Furthermore, depending on what the crews' operational priorities are, the methodology would be used with different proxies of demand – for example, hotline work versus non-hotline work in order to test the robustness of the current network configuration. The tool would also enable TAU to decide whether crews are overworked and when additional human resources are needed to support the workload.

## **La localisation d'équipes spécialisées**

**par Chris Goodwin, Joanne Kok and Steven Kabanuk**  
**University of Alberta**

*<Ce texte s'inspire de l'article primé au concours du meilleur étudiant de la SCRO 1999>*

### **INTRODUCTION**

TransAlta Utilities (TAU) est une société énergétique desservant environ 350 000 clients sur un territoire de 212 000 kilomètres carrés. Elle est la plus importante entreprise publique d'électricité au Canada détenue par des investisseurs. À la suite de la déréglementation du marché des services publics d'électricité en Alberta, l'environnement concurrentiel de TAU est actuellement en train de changer, obligeant l'entreprise à chercher des moyens d'accroître son efficacité opérationnelle. TAU utilise sept "équipes spécialisées", dont chacune est composée de quatre personnes hautement qualifiées, réparties à la grandeur de la province. TAU nous a demandé de répondre à plusieurs questions concernant ses équipes spécialisées – notamment, le nombre d'équipes spécialisées qu'elle devrait utiliser, les lieux où elle devrait les implanter et les possibilités de réduire les coûts.

### **PROBLÈME**

TAU a besoin de savoir combien elle devrait utiliser d'équipes spécialisées, où elle devrait les implanter, quelles seraient les zones de service appropriées et dans quelles circonstances il serait préférable de confier le travail à une entreprise extérieure. Elle souhaite aussi déterminer le coût d'une répartition équitable de la charge de travail entre les équipes. Par ailleurs, TAU est en mesure de varier la taille de ses équipes ou même de former des équipes saisonnières temporaires en fonction des fluctuations dans la charge de travail.

Le processus de prise de décision de TAU constitue un exercice délicat en raison de certaines contraintes opérationnelles spécifiques. Tout changement apporté à la configuration des équipes entraînera des coûts élevés. Les bases d'affectation ne sont pas entièrement mobiles puisqu'elles servent de lieu d'entreposage permanent pour les véhicules et l'équipement. Garder les équipes en déplacement constant aurait aussi un effet nuisible sur le moral des employés. Pour des raisons d'organisation pratique et afin de respecter les politiques internes en matière de main-d'œuvre et les règles de sécurité imposées par la réglementation des services publics d'électricité et de télécommunications, un minimum a été fixé pour la taille des équipes.

Comme nous l'avons souligné précédemment, la direction de TAU souhaite donner la priorité au service de dépannage, cependant, en raison de certaines variations saisonnières de la demande, la TAU doit souvent confier d'autres tâches aux équipes durant les périodes plus creuses afin de maximiser leur rentabilité. Les travaux de dépannage, qui constitue la fonction première de ces équipes, dépend dans une large mesure de plusieurs facteurs économiques tels que l'activité dans la nappe de pétrole. Par conséquent, il faudra analyser divers scénarios pour prendre des décisions qui tiendront compte des variations associées à certains facteurs des marchés externes.

## APPROACH

The " $p$ -median" model is useful in strategically locating facilities, or in our case, locating crews. Our model selects a subset of  $p$  crew locations from a set of  $n$  potential locations and assigns work to the selected locations by shortest distance (which represent the service regions for each crew). All models of this type require a set of fixed demand points (with known demands), and distances between demand points and crew locations. The objective of the model is to minimize the sum of the weighted distances (cost) between crew locations and demand centers assigned to them.

TAU provided us with 17 candidate crew locations and asked that we explore the tradeoffs in locating different numbers of crews (4 to 10). To analyze all possible combinations of these locations, it would take more than 30 hours to complete the calculations. TAU wanted to perform "what-if" analysis on a regular basis and needed results quickly. Consequently, we chose a heuristic approach to select  $p$  crews from the 17 candidate locations.

## Data

To place the problem into perspective, it was necessary to obtain spatial data, a demand profile of the province, and estimates of relevant costs. The spatial data, in the form of  $X$  &  $Y$  coordinates of TAU's various service points (157) as well as candidate locations for the crews (17 in total) enabled us to plot a service region. A customer demand profile for the entire province was compiled using information from TAU's crew time sheets. The time sheets also indicated which specific work orders were linked which to specific work locations. This represented the weights used in our model. Finally, relevant costs such as set-up costs (new acquisitions of crew locations and associated equipment, relocation of crewmembers) and operating costs (labor, equipment charge-out rates, depreciation, overnight stay expenses) were also obtained. The cost of using contractors was also relevant to the analysis and will be used as a decision factor when considering the option of outsourcing work.

## RESULTS

Given the limited data set, we were still able to confirm many of management's hunches and provide relative trade-offs under several scenarios. Preliminary workload analysis indicated that on average, 25-35% of labor cost was being incurred due to travel. This provided considerable justification for reassessing the current crew configuration. Obviously, if crews were located closer to work, travel costs would be reduced.

TAU managers wished to know what sort of additional travel costs or savings could result among the specialty crews if TAU were to add or subtract from the existing number of crews. We used our model to help provide relative distance savings to TAU under these scenarios. As expected, travel costs were significantly reduced with the addition of extra crews. The model did confirm, however, that the law of diminishing returns applied to the addition of extra crews. Using our travel costs and the locations of the crews, TAU managers were able to compare the costs of operating additional crews versus the savings in travel.

## OBJECTIFS ET ÉNONCÉ DU PROJET

Par ce projet, TAU souhaitait avant tout obtenir une méthode de décision qui permettrait à ses cadres d'évaluer la configuration et le rendement du réseau de service de ses équipes spécialisées à plusieurs reprises durant l'année. De plus, en fonction des priorités opérationnelles des équipes, on appliquerait cette méthode à différentes approximations de la demande— par exemple, en mettant en parallèle les travaux de dépannage et les autres tâches afin de vérifier la robustesse de la configuration actuelle du réseau. Cet outil devrait permettre aussi à TAU de déterminer si les équipes sont surchargées et de décider quand il faut faire appel à des ressources humaines additionnelles pour venir à bout de la charge de travail.

## APPROCHE

Le modèle " $p$ -médiane" est utile pour localiser des installations de manière stratégique, ou dans notre cas, des équipes. Notre modèle choisit un sous-ensemble de  $p$  emplacements d'équipe à partir d'un ensemble de  $n$  emplacements possibles et il répartit la charge de travail entre les emplacements choisis en fonction de la distance la plus courte (ce qui représente les zones de service pour chaque équipe). Pour tous les modèles de ce type, il faut un ensemble de points de demande fixes (dans le cas de demandes connues) et les distances entre les points et les emplacements des équipes. Ce modèle vise à réduire au minimum la somme des distances pondérées (coût) entre les emplacements des équipes et les centres de demande auxquels elles sont affectées.

TAU nous a proposé 17 emplacements pour les équipes et elle nous a demandé d'explorer les avantages et inconvénients liés à l'implantation d'un nombre variable d'équipes (de 4 à 10). Pour analyser toutes les combinaisons possibles de ces emplacements, il faudrait plus de 30 heures de calculs. TAU souhaitait procéder à une analyse "de simulation" sur une base régulière et avait besoin de résultats rapidement. Par conséquent, nous avons opté pour une approche heuristique pour sélectionner  $p$  équipes à partir des 17 emplacements proposés.

## Données

Pour mettre le problème en perspective, nous avons besoin d'obtenir les données spatiales, un profil des demandes pour la province et des estimations des coûts pertinents. Les données spatiales, représentées sous la forme de coordonnées des divers points de service (157) de TAU ainsi que les emplacements proposés pour les équipes (17 en tout) nous ont permis de représenter graphiquement une zone de service. À partir de l'information contenue dans les feuilles de temps des équipes, nous avons dressé un profil de la demande de la clientèle pour l'ensemble de la province. Les feuilles de temps indiquaient également quels bons de travail étaient associés à chaque emplacement. Ces données constituaient les facteurs de pondération utilisés dans notre modèle. Enfin, on nous a aussi fourni les coûts pertinents, tels que les coûts de mise en place (coûts d'acquisition de nouveaux emplacements pour les équipes et d'équipement connexe, relocalisation des membres des équipes) et les frais d'exploitation (main-d'œuvre, tarifs de sortie de l'équipement, amortissement, frais d'hébergement). Les coûts liés à l'externalisation étaient eux aussi pertinents pour l'analyse et interviendraient comme facteur de décision au moment de considérer l'option de confier du travail à des entreprises extérieures.

TAU wished to determine some benchmark for the additional travel costs of operating current fixed crew sizes (4 men) and distributing workloads evenly among them. After application of Lagrangian relaxation to the problem, proxies for travel costs under the evenly distributed workload scenarios were generated. As expected, there were significant additional costs to allocating work equitably among crews.

Two separate proxies for demand were used to drive the analytical process. The total number of hours the crews worked in each demand center throughout the province and then the hours spent working on hotline only were used. We found that the model made the same decisions irrespective of the type of work.

## **IMPLEMENTATION**

TAU realized that operational decisions needed to be made on a regular basis and wanted options to be backed up with costs. Our team determined that TAU would be best served by a decision support tool that used our model as its foundation. In addition to determining optimal locations and service areas, this tool offered the ability to test and conduct sensitivity analysis for various levels of demand and crew configurations. Our model helps to make decisions by producing workload and travel estimates for any given scenario.

The decision support tool was implemented on a spreadsheet with the location/assignment algorithms coded as macros. Depending on the user's objectives and time constraints, one has the option of choosing locations without regard for equitable workload. The manager can use different types of work to represent demand, such as construction, maintenance, or hotline work. The manager simply enters a proxy for demand (based either on past data or best future estimates) to appropriately "weight" the relevant areas of TAU's service region. The program can then be run to produce crew locations, service areas, estimated crew workloads, and travel costs for any number of specialty crews.

## **CONCLUSION**

Our partnership with TAU gave the company a refreshing perspective to its business. The project was able to provide immediate feedback to TAU managers on the performance of the specialty crews' current service network. In most cases, the existing network configuration made sense and when it did not, sensible alternatives were provided. TAU now has a quantitative model which, combined with managerial intuition and experience, will make decision making easier and more effective. TAU is now better equipped to respond to changes in the demand environment.

It is important to note that the analysis conducted in this project is on a macro level. In order to obtain more realistic estimates of cost, it would be necessary to actually simulate operations on a day-to-day basis. However, our analysis is sufficient for decision making at the strategic level. In addition, TAU would benefit from more accurate forecasts of demand. A forecasting tool would help the company pinpoint changes in the demand profile throughout the province, reducing future uncertainty.



## RÉSULTATS

Étant donné l'ensemble limité de données, nous avons été en mesure de confirmer bon nombre d'intuitions de la direction et avons indiqué les avantages et inconvénients relatifs pour plusieurs scénarios. Une analyse préliminaire de la charge de travail a révélé qu'en moyenne, 25 à 35 % des coûts de main-d'œuvre étaient attribuables au déplacement. Ce résultat justifiait donc pleinement une réévaluation de la configuration actuelle des équipes. De toute évidence, en rapprochant les équipes de leur emplacement de travail, on réduirait les frais de déplacement.

Les cadres de TAU voulaient savoir à combien s'élèveraient les frais de déplacement ou les économies supplémentaires si l'entreprise augmentait ou réduisait le nombre actuel d'équipes. Nous avons utilisé notre modèle pour fournir à TAU des économies de distance relatives pour divers scénarios. Comme nous nous y attendions, les frais de déplacement diminuaient considérablement quand nous ajoutions des équipes supplémentaires. Le modèle a confirmé cependant que la loi des revenus décroissants s'appliquait à l'ajout d'équipes. À partir de nos indications sur les frais de déplacement et sur les emplacements pour les équipes, les cadres de TAU ont été en mesure de mettre en parallèle les frais qu'occasionnerait l'implantation d'équipes supplémentaires et les économies réalisées sur les frais de déplacement.

TAU souhaitait établir des points de référence pour les frais de déplacement supplémentaires associés à l'utilisation des équipes actuelles de taille fixe (4 personnes) et à la répartition équitable de la charge de travail entre elles. Après avoir appliqué la relaxation lagrangienne au problème, nous avons produit des estimations des frais de déplacement pour les scénarios où la charge de travail était répartie également. Comme nous nous y attendions, les frais augmentaient considérablement quand on répartissait le travail équitablement entre les équipes.

Afin de poursuivre le processus analytique, nous avons utilisé deux estimations distinctes de la demande. Nous avons considéré le nombre total d'heures travaillées par les équipes dans chaque centre de service à la grandeur de la province, puis seulement les heures consacrées aux travaux de dépannage. Nous nous sommes aperçus que le modèle prenait les mêmes décisions sans tenir compte du type de tâches.

## RÉALISATION

TAU a réalisé que les décisions opérationnelles devaient être prises régulièrement et elle voulait des options dont les coûts étaient établis. Notre équipe a déterminé que TAU avait besoin d'un outil d'aide à la décision s'appuyant sur notre modèle. En plus d'indiquer les emplacements et les zones de service optimaux, cet instrument offrait la possibilité de vérifier et d'effectuer une analyse de sensibilité pour divers niveaux de demande et configurations d'équipes. Notre modèle permet de prendre des décisions fondées des estimations de charge de travail et de déplacement pour n'importe quel scénario.

L'outil d'aide à la décision a été réalisé dans un tableur et les algorithmes d'emplacement ou d'affectation ont été codés sous la forme de macros. Selon les objectifs de l'utilisateur et les contraintes de temps, il permet de choisir des emplacements sans égard pour une charge de travail équitable. Le cadre peut utiliser différents types de tâches pour représenter la demande : construction, maintenance ou travaux de dépannage. Il lui suffit d'entrer une estimation de la demande (en s'appuyant sur des données antérieures ou sur les meilleures estimations pour l'avenir) pour " pondérer " de manière appropriée les zones pertinentes de la région de service de TAU. Il peut ensuite se servir du programme pour produire les emplacements des équipes, les zones de

**CORS Members “*Making Waves*”**

CORS Members “*Making Waves*” brings to light deserving accomplishments and important milestones attained by our CORS members. By bringing such recognition into the foreground, this section informs readers of the recent accolades bestowed upon our members. In this issue, we feature the news of several CORS members. If you wish to contribute news to this section, please feel free to contact me at [drekic@fisher.stats.uwo.ca](mailto:drekic@fisher.stats.uwo.ca).

**Pleins feux sur les membres de la SCRO**

La rubrique “*Pleins feux sur les membres de la SCRO*” rend hommage aux membres de la SCRO qui se sont illustrés par l'excellence de leurs réalisations et souligne les faits marquants de leur parcours professionnel. Cette section sert donc à informer les lecteurs des récentes distinctions décernées à nos membres. Aujourd'hui, nous vous livrons les nouvelles de plusieurs membres de la SCRO. Si vous désirez contribuer à cette chronique, n'hésitez pas à communiquer avec moi à [drekic@fisher.stats.uwo.ca](mailto:drekic@fisher.stats.uwo.ca).

- Peter Bell, former CORS and IFORS president, was the subject of a recent Globe and Mail article entitled “*Math + Decisions = Management Science*”, which appeared on page M1 of the Monday, July 5, 1999 issue.
- Fresh off his term as CORS president, Rick Caron will now assume the role of Interim Executive Dean of Engineering and Science at the University of Windsor for a six-month period beginning August 1, 1999.
- Michel Gendreau, 1996-97 CORS president, will be CRT's (*Centre de recherche sur les transports*) director for the next four years (June 1999 – May 2003).
- Tim Nye, former president of the Waterloo Student Section, recently left an Adjunct position in the Department of Management Sciences at the University of Waterloo to accept an Assistant Professor position in the Department of Mechanical Engineering at McMaster University. Tim plans to focus on applying O.R. tools to manufacturing problems as well as teaching in the industrial and mechanical engineering areas.
- Evelyn Richards, CORS Secretary, has recently accepted a new position, “Systems Engineer”, in the forest engineering group of the Faculty of Forestry and Environmental Management at the University of New Brunswick. On the research side, most of her focus will be on the mathematical modelling of spatial problems in forest management planning. On the teaching side, Evelyn will teach quantitative methods such as linear and integer programming, simulation, and statistics.
- Keith Willoughby is leaving the University of Saskatchewan to accept a faculty position in the Department of Management at Bucknell University in Lewisburg, Pennsylvania, starting in August 1999. Bucknell University is a small, private university with a total enrollment of roughly 3200, with over 300 students enrolled in the Department of Management. Keith will be teaching Operations Management and Decision Sciences courses.

**CORS - SCRO 2000 ANNUAL CONFERENCE**  
***Energy, Natural Resources, and the Environment***  
MAY 29-31, 2000  
EDMONTON, ALBERTA

service, les estimations de charge de travail des équipes et les frais de déplacement pour n'importe quel nombre d'équipes spécialisées.

### CONCLUSION

Ce partenariat a permis à TAU de regarder son entreprise avec un regard neuf. Le projet a fourni aux cadres de TAU des données immédiates sur le rendement du réseau de service actuel de ses équipes spécialisées. Dans la plupart des cas, la configuration existante du réseau était valable et quand ce n'était pas le cas, des solutions de rechange appropriées étaient fournies. TAU dispose donc maintenant d'un modèle quantitatif qui, allié à l'intuition et à l'expérience du personnel d'encadrement, rendra la prise de décision plus facile et efficace. L'entreprise est désormais mieux équipée pour faire face aux changements de la demande.

Il est important de noter que l'analyse menée dans le cadre de ce projet a été effectuée au niveau des macros. Si l'on voulait obtenir des estimations plus réalistes des coûts, il faudrait en réalité simuler les activités sur une base quotidienne. Toutefois, notre analyse est suffisante pour la prise de décision sur le plan stratégique. Par ailleurs, il serait utile pour TAU de disposer de prévisions plus précises de la demande. Un outil de prévision aiderait la société à repérer toute modification du profil de la demande à la grandeur de la province, ce qui réduirait le degré d'incertitude.

### News from Western Canada

At the recent AGM of the Calgary Section, the following changes were made to the executive council:

President: Maurice Elliott  
Vice President: Tom Morrison  
Secretary: Neil Barnes  
Treasurer: Alan Walker  
Past President: John Heffer  
Program Director: Neil Robinson  
Director at Large: Tom Grossman  
Director at Large: Murray Howland  
Director at Large: Cradock Spence  
Director at Large: Cornelis van de Panne

On news from the Saskatoon front, the 1999-2000 CORS Saskatoon executive is now in place:

President: Winfried Grassmann  
Social Convenor: Kent Kostuk  
Treasurer: Geoff Benson

As well, Dr. Kim Rossmo is scheduled to give a TSP sponsored talk in Saskatoon in September 1999. Detective Inspector Kim Rossmo is in charge of the Vancouver Police Department's Geographic Profiling Section. He has been a police officer since 1980, working assignments in offender profiling, organized crime intelligence, patrol, the emergency response team, and the Skid Row beat. Kim has a Ph.D. in Criminology and is an Adjunct Professor at Simon Fraser University where he teaches courses on policing and serial murder. He is a member of the editorial board for the international journal *Homicide Studies*, and has researched and published in the areas of policing, criminology, and serial violent crime investigation. He frequently lectures at universities and police training academies on a variety of topics.

Serial violent and sexual crimes are difficult to solve, and pose significant challenges to police investigators. Geographic Profiling is one of the innovative new tactics now used by police in serial crime investigation. It involves a strategic information management system that analyzes an offender's hunting behaviour and target selection. Geographic Profiling Analysis uses the locations of a connected series of crimes to determine the most probable area of offender residence.

Additional information may be obtained via the following web page:

<http://www.city.vancouver.bc.ca/police/structure/op-support/geo/kim.html>

**CORS - SCRO 2000 ANNUAL CONFERENCE**  
**Energy, Natural Resources, and the Environment**  
MAY 29-31, 2000  
EDMONTON, ALBERTA

**CORS Travelling Speakers Program**

The Travelling Speakers Program (TSP) enables local sections to bring Canadian O.R. practitioners / researchers as speakers to their local events. In order to keep costs in line while maximizing the CORS National profile, the sponsorship will be limited to travel expenses to a maximum of \$500, to be matched by the local section. The expenses covered may include costs for accommodation, meals and other local arrangements.

One page in the program brochure must be contributed to CORS for advertising. An announcement of the local event and the TSP sponsored talk will appear in the *CORS Bulletin*.

To obtain approval for funding, the local section should submit an application to the TSP co-ordinator at least one month in advance of the event date. Payment will be made by the CORS Treasurer upon receipt of the expense report.

**Programme de Conférenciers  
Itinérants de la SCRO**

Le Programme de Conférenciers Itinérants (PCI) aide les chapitres locaux à inviter des praticiens / chercheurs canadiens en R.O. à donner des exposés lors d'activités locales. Pour bien gérer ses dépenses tout en maximisant sa visibilité, la SCRO Nationale limitera sa contribution aux frais de déplacement sans dépasser 500 \$. Le chapitre local doit évaluer ce montant, qui peut inclure des frais d'hébergement, repas et autres nécessités.

Une page du programme de l'activité doit être réservée à la SCRO pour de la publicité. L'activité et l'exposé parrainé par le PCI seront annoncés dans le *Bulletin de la SCRO*.

Pour obtenir des fonds, le chapitre local doit soumettre une demande au Coordonnateur du PCI au moins un mois avant la date de l'activité. Le paiement sera fait par le Trésorier de la SCRO sur réception du rapport de dépenses.

**Application for Funding: CORS Travelling Speakers Program****Demande de Fonds: Programme de Conférenciers Itinérants de la SCRO**

<b>Organizer's name</b> <b>Nom du responsable</b>	
Employer Employeur	
Email address Adresse de courriel	
<b>Name of local event</b> <b>Nom de l'activité</b>	
Host institution Institution hôte	
Place and date Lieu et date	
<b>Speaker's name</b> <b>Nom du conférencier</b>	
Employer Employeur	
Email address Adresse de courriel	
<b>Title of talk</b> <b>Titre de l'exposé</b>	

Signature \_\_\_\_\_ Date \_\_\_\_\_

**MAIL TO / ENVOYER PAR LA POSTE À:** Professeur Bernard Lamond  
Département OSD  
Université Laval  
Québec (Qc) G1K 7P4

**CORS - SCRO 2000 ANNUAL CONFERENCE**  
**Energy, Natural Resources, and the Environment**  
MAY 29-31, 2000  
EDMONTON, ALBERTA

**MEETINGS AND CONFERENCES****CORS / SCRO Business Meetings**

- 99 Sep 24                    2<sup>nd</sup> Council Meeting, TeleConference.  
 99 Nov 26                    3<sup>rd</sup> Council Meeting, Toronto.  
 2000 Jan 28                  4<sup>th</sup> Council Meeting, TeleConference.  
 2000 March 31                5<sup>th</sup> Council Meeting, Montreal.  
 2000 May 29                  6<sup>th</sup> Council Meeting, Edmonton.

**CORS / SCRO Annual Conferences**

- 2000 May 29-31            42<sup>nd</sup> Congrès Annuel SCRO - CORS Annual Conference, Hotel Macdonald, Edmonton, Alberta. General Chair: Erhan Erkut, E-mail: [erhan.erkut@ualberta.ca](mailto:erhan.erkut@ualberta.ca). Conference Theme: *Energy, Natural Resources, and the Environment*. Papers in these areas, as well as papers in other areas of OR are welcome. Please check the conference web page <<http://www.bus.ualberta.ca/eerkut/CORS2000/>> for announcements.

**Other Conferences**

- 99 Aug 16-20                IFORS '99 - "*OR - Parallel Roads to Prosperity in the 21<sup>st</sup> Century*", Friendship Hotel, Beijing, China. Contact: Professor Kan Cheng, Fax: +86 10 254 1689, E-mail: [cheng@amath3.amt.ac.cn](mailto:cheng@amath3.amt.ac.cn).  
 99 Aug 27-28                First National Workshop on Queueing Theory and its Related Fields of Applications, Sheraton Hotel, Winnipeg, Manitoba. For more information, contact A.S. Alfa, E-Mail: [alfa@cc.umanitoba.ca](mailto:alfa@cc.umanitoba.ca), Phone:+1 204 474-9173.  
 99 Aug 30-Sep 3            6<sup>th</sup> International Symposium on Generalized Convexity and Monotonicity, Karlovassi, Samos, Greece. For more information, visit the web site <<http://kerkis.math.aegean.gr/~gc6/GC6.htm>>.  
 99 Sep 21-23                2<sup>nd</sup> International Military Applications Society Conference – "Applied Military O.R.: Preparing for the Next Millenium", Centennial Club, Fort Bliss, Texas. Submission Deadline: 30 August 1999. Visit the web site <<http://www.informs.org/subdiv/Societies/mas/index.htm>> for more.  
 99 Sep 21-24                Annual Conference of the Operational Research Society of Italy (AIRO'99) – "*Simulation and Optimization in Operations Management*", Naples, Castel dell'Ovo. For additional information, visit the web site <<http://www.airo.org/airo99>>.  
 99 Sep 30-Oct 2            5<sup>th</sup> International Symposium on Operational Research (SOR'99), Preddvor, Slovenia. General Chair: Lidija Zadnik, University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, 1000 Ljubljana, Slovenia, Phone: 00386 61 123 1161/503, Fax: 00386 61 271 169, E-Mail: [lidija.zadnik@uni-lj.si](mailto:lidija.zadnik@uni-lj.si), WWW: <<http://www.home.amis.net/matjeran/sor/>>.  
 99 Oct 30-31                2<sup>nd</sup> Asia-Pacific Conference on Industrial Engineering and Management Systems (APIEMS'99), Kanazawa, Japan. Contact: Mitsuo Gen, Dept. of Industrial and Information Systems Engineering, Ashikaga Institute of Technology, Ashikaga, Japan, Phone: + 81(284)62-0605 ext. 376, Fax: +81(284)64-1071, E-Mail: [apiems99@genlab.ashitech.ac.jp](mailto:apiems99@genlab.ashitech.ac.jp).  
 99 Nov 7-10                INFORMS Philadelphia, Philadelphia Marriott. For more information, contact G. Anandalingam, Phone: (215) 898-8790, Fax: (215) 573-2065, E-mail: [anand@seas.upenn.edu](mailto:anand@seas.upenn.edu).

**CORS - SCRO 2000 ANNUAL CONFERENCE**  
***Energy, Natural Resources, and the Environment***  
 MAY 29-31, 2000  
 EDMONTON, ALBERTA

- 99 Dec 5-8 Winter Simulation Conference '99 – “*Simulation: A Bridge to the Future*”, Pointe Hilton at Squaw Peak, Phoenix, AZ. For more information, visit the web site <<http://www.wintersim.org>>.
- 99 Dec 10-11 34<sup>th</sup> Annual Conference of the Operational Research Society of New Zealand – “*OR in the New Millenium*”, Hamilton, New Zealand. Visit the web site <<http://www.mngt.waikato.ac.nz/orsnz99>> for more details.
- 99 Dec 11-12 9<sup>th</sup> Workshop on Information Technologies and Systems (WITS'99), Charlotte, North Carolina. Workshop/Program Co-Chairs: Sridhar Narasimhan, DuPree College of Management, Georgia Institute of Technology, E-Mail: [sri@narasimhan@mgt.gatech.edu](mailto:sri@narasimhan@mgt.gatech.edu) and Sumit Sarkar, School of Management, University of Texas at Dallas, E-Mail: [sumit@utdallas.edu](mailto:sumit@utdallas.edu).
- 99 Dec 12-15 20<sup>th</sup> Annual International Conference on Information Systems – “*An IT Vision for the 21<sup>st</sup> Century*”, Adams Mark Hotel, Charlotte, North Carolina. For updated or additional information, visit the ICIS'99 web site <<http://www.uncc.edu/icis99/>>.
- 2000 Jan 5-7 Computing and Optimization Tools for the New Millennium, Westin Regina Resort, Cancún, México. Contact: Manuel Laguna, University of Colorado, Boulder, Colorado 80309-0419. Contributed presentations deadline is September 17, 1999.
- 2000 Mar 5-8 INFORMS Telecommunications Conference, Sheraton Boca Raton, Boca Raton, Florida. General Chair: June Park, Samsung SDS, 707-19 Yoksam-Dong, Kangnam-Ku, Seoul, Korea 135-080, Phone: 82-2-3429 2083, Fax: 82-2-3429-3600, E-Mail: [jpark0@samsung.co.kr](mailto:jpark0@samsung.co.kr).
- 2000 Apr 17-19 *APMOD 2000* – Applied Mathematical Programming and Modelling, Brunel University, West London. Contacts: Dr. Cormac Lucas (Brunel University, UK) and Dr. Nikitas Koutsoukis (Brunel University, UK), E-Mail: [apmod@brunel.ac.uk](mailto:apmod@brunel.ac.uk), Phone: +44-(0)1895-203-304, Fax: +44-(0)1895-203-303. Short Abstract Deadline: 31 October 1999.
- 2000 July 5-7 5<sup>th</sup> Conference of the Association of Asian-Pacific Operations Research Societies, Singapore, Japan. Program Chair: Paul Kang Hoh, Dept. of Information Systems, School of Computing, National University of Singapore. Abstract Deadline: 1 September 1999.

### WWW Conference Listings

CORS / SCRO Conference Page: <<http://www.cors.ca/meetings/confer.htm>>

INFORMS Conference Home Page: <<http://www.informs.org/Conf/Conf.html>>

IFORS Conferences: <<http://www.ifors.org/leaflet/conferences.html>>

Netlib Conferences Database: <<http://www.netlib.org/confdb/Conferences.html>>

SIAM Conference Home Page: <<http://www.siam.org/conf.htm>>

**CORS - SCRO 2000 ANNUAL CONFERENCE**  
***Energy, Natural Resources, and the Environment***  
MAY 29-31, 2000  
EDMONTON, ALBERTA

**The Next Issue**

The next issue of the Bulletin is scheduled to appear in early November. Along with current news from the local sections, the Bulletin should feature more information concerning next year's National Conference in Edmonton, including conference registration material, prize announcements, etc. The O.R. series continues with an invited article on "OR at GERAD – La RO au GERAD" from Pierre Hansen of HEC (École des Hautes Études Commerciales). Until then, please send your contributions to the Bulletin, especially news on the activities of local sections and members to:

Steve Drekić  
Department of Statistics  
University of Toronto  
100 St. George Street  
Toronto, Ontario M5G 3G3  
E-mail: [drekić@fisher.stats.uwo.ca](mailto:drekić@fisher.stats.uwo.ca)  
Fax: 416-978-5133

The deadline for submission is October 22, 1999, and the preferred method of submission is by a WORD or WP attachment to an e-mail. The bulletin is produced using Word 7.0.

<p><b>CORS</b> <b>Bulletin Advertising Policy</b></p> <p>Ads cost \$120 per page, proportional for fractional pages. Logos and prepared layouts can be accommodated. Direct inquiries to the Editor.</p>	<p><b>Politique de publicité du bulletin de la SCRO</b></p> <p>Le coût d'une annonce est de 120\$/page et varie en proportion pour les annonces de moindre longueur. Les annonces peuvent contenir des logos et des schémas. Contacter le rédacteur pour toute autre information.</p>
--	---

<p><b>CANADIAN OPERATIONAL RESEARCH SOCIETY / SOCIÉTÉ CANADIENNE de RECHERCHE OPÉRATIONNELLE</b> <b>Application for Membership / Formulaire d'adhésion</b></p>			
<b>Name / Nom:</b>	_____		
	First / Prénom	Initial / Initiale	Last / Nom
	Signature _____		
<b>Address / Adresse:</b>	_____		
	Institution / Affiliation		
	_____		
	Street / Rue		
	_____		
	City / Ville	Province	Postal Code / Code Postal
<b>Internet:</b>	_____		
	e-mail / Courrier Électronique	URL	
<b>Phone / Téléphone:</b>	_____		
	Business / Travail	Home / Domicile	Fax / Télécopieur
<b>Employer Name / Place de Travail:</b>	_____		
	Name of University, if Student Nom de L'Université, si Étudiant(e)	Position (Signature of University Official for Student Application) Titre (Signature du Représentant de L'Université, si Étudiant(e))	
<b>Type of Membership / Abonnement:</b>	Regular / Régulier (\$55.00)	<input type="checkbox"/>	Student / Étudiant(e) (\$25.00)
		<input type="checkbox"/>	Retired / Retraité (\$27.50)
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Please return to / S.v.p. envoyer à: CORS - SCRO, P.O. Box 2225, Station D, Ottawa, Ontario, K1P 5W4			

Members are reminded to contact Denise Muinonen ([MUINONEN@aol.com](mailto:MUINONEN@aol.com)) concerning membership updates and David Martell ([martell@smokey.forestry.utoronto.ca](mailto:martell@smokey.forestry.utoronto.ca)) regarding general inquiries.

<p><b>CORS - SCRO 2000 ANNUAL CONFERENCE</b> <b>Energy, Natural Resources, and the Environment</b> MAY 29-31, 2000 EDMONTON, ALBERTA</p>
--