

## **Forest Fire Management Challenges Operational Researchers**

David L. Martell  
Faculty of Forestry, University of Toronto  
33 Willcocks Street, Toronto, Ontario,  
Canada, M5S 3B3  
Telephone: (416) 978-6960  
Fax: (416) 978-3834  
E-mail:  
martell@smokey.forestry.utoronto.ca

## **La gestion des feux de forêt, un défi pour les chercheurs opérationnels**

David L. Martell  
Faculty of Forestry, University of Toronto  
33 Willcocks Street, Toronto, Ontario  
Canada, M5S 3B3  
Téléphone: (416) 978-6960  
Fax: 978-3834  
Courrier électronique:  
martell@smokey.forestry.utoronto.ca

### **Introduction**

Each summer Canadians read countless newspaper articles, hear many radio news stories and watch exciting television coverage of raging forest fires that depict fire as a destructive force that threatens public safety, forest resources and the beautiful forest landscapes we cherish. The fear of fire and the desire to exclude it from our forests is an understandable reaction that is enhanced by fire prevention campaigns in which captivating mascots, the most recognizable of which is Smokey Bear, deliver poignant fire prevention messages. The true story is of course, much more complicated.

Fire certainly is a threat to public safety but Canadian forest fire management agencies minimize that threat by detecting fires soon after they are ignited, controlling many potentially dangerous fires before they grow to large sizes, and evacuating people from the paths of large fires before they are harmed. Fire continues to threaten cottages and other facilities scattered throughout forested areas and that threat is heightened in what fire managers refer to as the "wildland/urban interface" where people nestle their rural homes in pine forests and other flammable forest fuel complexes. Fortunately, fire now seldom sweeps through communities as was common during the early part of the twentieth century.

### **Introduction**

Chaque été, les Canadiens lisent une foule d'articles, entendent de nombreux comptes rendus à la radio et voient des reportages saisissants à la télévision qui décrivent les feux de forêt comme une force destructrice qui menace la sécurité publique, les ressources forestières et les superbes paysages boisés qui nous sont chers. La peur du feu et le désir de l'éliminer sont des réactions compréhensibles, renforcées par les campagnes de prévention des feux de forêt où l'on voit des mascottes attachantes, dont la plus connue est l'Ours Smokey, livrer des messages poignants de prévention contre les incendies. Bien sûr, le véritable problème est beaucoup plus complexe.

Le feu représente sans aucun doute une menace pour la sécurité publique, mais les organismes canadiens de gestion des feux de forêt réduisent cette menace au minimum en détectant les feux peu de temps après leur naissance, en maîtrisant beaucoup d'incendies potentiellement dangereux avant qu'ils ne se propagent sur de grandes superficies et en évacuant les gens de façon à les écarter de la route des incendies d'importance avant que leur vie ne soit en péril. Le feu continue de menacer les chalets et autres habitations disséminés dans les régions boisées et cette menace augmente dans ce que les gestionnaires des feux désignent comme la surface limite entre les terres non défrichées et les zones urbaines où on trouve des maisons de campagne établies dans des pinèdes et dans d'autres complexes combustibles inflammables.

Fire is a natural component of many of Canada's forest ecosystems and it plays important roles in the maintenance of forest health. But people live, work and play in and near Canadian forests that serve as valuable sources of industrial fibre and provide many other benefits associated with recreation and tourism, air and water quality, as well as intangible benefits such as wilderness preservation and spiritual values. We simply cannot stand by and let nature take its course.

Canadian forest fire management agencies face enormous challenges as they attempt to balance the destructive and beneficial impacts of fire. Their task is complicated by the fact that their budgets are being reduced as their challenges grow. It is therefore not surprising that forest fire management poses interesting challenges for operational researchers.

### Early Days

Martell (1982) is a comprehensive review of operational research studies in forest fire management that were published during the period 1961 through 1981. Shephard and Jewell (1961) appear to have been the first to explore the potential application of OR to forest fire management and they initiated several projects at the Operations Research Center (ORC) at the University of California, Berkeley. Kourtz (1970) studied fire detection systems and completed graduate work under the supervision of W. G. O'Regan in the School of Forestry at Berkeley where he was able to interact with the ORC group. He returned to the Canadian Forestry Service's (CFS) Forest Fire Research Institute in Ottawa where he was joined by Maloney (1972), Simard (1978) and others who applied OR to airtanker management in the course of their graduate work at Berkeley, the

Heureusement, il est maintenant rare que le feu rase des communautés comme cela se produisait couramment au début du siècle.

Le feu est une composante naturelle d'un grand nombre d'écosystèmes forestiers au Canada et il joue un rôle important dans la préservation de la santé des forêts. Cependant, les gens vivent, travaillent et jouent au coeur et à proximité des forêts canadiennes qui sont une source précieuse de fibres industrielles et présentent de nombreux attraits d'ordre récréatif et touristique, une qualité de l'air et de l'eau ainsi que certains avantages plus difficiles à définir comme la préservation des réserves naturelles et certaines valeurs spirituelles. Nous ne pouvons tout simplement pas rester là sans intervenir et laisser la nature suivre son cours.

Dans leurs efforts pour trouver un point d'équilibre entre les effets destructeurs et bénéfiques du feu, les organismes canadiens de gestion des feux de forêt sont confrontés à d'énormes défis. De plus, à mesure que ces défis augmentent, leurs budgets diminuent ce qui complique encore leur tâche. La gestion des feux de forêt présente donc des défis intéressants aux chercheurs opérationnels.

### Historique

L'article de Martell (1982) est une étude exhaustive des travaux de recherche opérationnelle sur la gestion des feux de forêt qui ont été publiés de 1961 à 1981. Shephard et Jewell (1961) semblent avoir été les premiers à explorer l'application potentielle de la RO à la gestion des feux de forêt et ils ont été à l'origine de plusieurs projets au Operations Research Center (ORC) de l'University of California, à Berkeley. Kourtz (1970) a étudié des systèmes de détection d'incendie et a rédigé sa thèse de doctorat sous la direction de W. G. O'Regan à la School of Forestry de Berkeley où il a pu travailler en collaboration avec l'équipe du ORC. Il est ensuite retourné à l'Institut de recherches sur les feux de forêts du Service canadien des forêts (SCF), à Ottawa, où il a été rejoint par Maloney (1972), Simard (1978) et d'autres chercheurs qui appliquaient la RO à la gestion des bombardiers à eau dans le cadre de leurs thèses de

Berkeley, the University of Washington and elsewhere. The Forest Fire Research Institute was later merged with other Canadian Forestry Service research centres and moved to the Petawawa National Forestry Institute which was closed in 1996 to reduce CFS expenditures.

I spent the 1970 fire season working as an Industrial Engineering summer student with Glenn Doan who was modelling initial attack systems in the Fire Control Unit of the Ontario Department of Lands and Forests in Toronto and I subsequently did graduate work under the supervision of A.A. Cunningham of the Department of Industrial Engineering at the University of Toronto. I then joined the Faculty of Forestry at the University of Toronto where I have continued to work on fire problems and supervise graduate students who have gone on to work with government agencies and form small consulting companies.

Of particular interest to Canadian readers is the early work of Stade who studied airtanker effectiveness at Canadair Ltd. in Montreal and published one of the earliest papers in the field (Stade, 1967) in the Canadian Journal of Operational Research, the precursor of INFOR.

### **Current Status of OR in Forest Fire Management**

The Ontario Ministry of Natural Resources (OMNR) continues to figure prominently in the use of OR and information technology which they and others in the fire community collectively refer to as "decision support systems" (DSS), and my graduate students and I benefit from close collaboration with them. Several other Canadian forest fire management agencies, most notably those in Quebec and British Columbia, are also significant players. Bryan Lee of the

doctorat à Berkeley, à l'University of Washington et ailleurs. L'Institut de recherche sur les feux de forêts est ensuite fusionné avec d'autres centres de recherche du Service canadien des forêts et il déménage à l'Institut forestier national de Petawawa qu'on fermera en 1996 pour réduire les dépenses du SCF.

Durant la saison des feux de 1970, à titre d'étudiant d'été en génie industriel, j'ai travaillé avec Glenn Doan qui modélisait des systèmes de première intervention à la Fire Control Unit du Ontario Department of Lands and Forests à Toronto, et j'ai par la suite rédigé ma thèse de doctorat sous la direction de A. A. Cunningham du Department of Industrial Engineering à l'University of Toronto. J'ai ensuite poursuivi des travaux sur les problèmes liés aux incendies à la Faculty of Forestry de l'University of Toronto où j'ai dirigé des étudiants de deuxième et troisième cycles qui travaillent maintenant dans des organismes gouvernementaux ou qui ont mis sur pied de petites sociétés d'experts-conseils.

Les lecteurs canadiens s'intéresseront tout particulièrement aux premiers travaux de Stade qui étudia l'efficacité des bombardiers à eau chez Canadair Ltée à Montréal et qui publia l'un des premiers articles dans le domaine (Stade, 1967) dans le Journal de la Société canadienne de recherche opérationnelle, le précurseur d'INFOR.

### **Rôle actuel de la RO dans la gestion des feux de forêt**

Le ministère des Ressources naturelles de l'Ontario (OMNR) continue d'être un important utilisateur de la RO et de la technologie de l'information qu'on désigne collectivement dans le secteur de la gestion des feux de forêt comme les "systèmes d'aide à la décision", et mes étudiants de troisième cycle et moi-même travaillons en étroite collaboration avec le ministère. Plusieurs autres organismes canadiens de gestion des feux de forêt, principalement au Québec et en Colombie-Britannique, sont aussi des acteurs de premier plan. Bryan Lee, du Service canadien des forêts, dirige actuellement un groupe d'aide à la décision pour la gestion des feux au laboratoire du SCF à Edmonton et plusieurs petites entreprises d'experts-conseils fournissent une expertise en RO

Canadian Forest Service currently leads a fire management DSS group at the CFS lab in Edmonton and several small consulting businesses provide OR expertise to the fire management community. The United States Forest Service maintains a small OR group, most members of which are based in Riverside California, an offshoot of the initial efforts at Berkeley, and there is a small community of researchers associated with fire management agencies throughout the United States, Australia, the Mediterranean region and elsewhere.

### Forest Fire Management in Canada

Canadian forest fire managers are moving from a fire exclusion past in which fire was thought to be a universally destructive force that was to be excluded from the forest at almost any cost, to a much more complex fire impact management era in which they must assess the many potential social, economic and ecological impacts of fire when they plan and carry out their activities. They must also ensure their intervention complements broad forest management policies and strategies such as sustainable forest management and all the complexity that entails.

Canadian forest fire management agencies make extensive use of water and aircraft. In the province of Ontario for example, crews of 3 to 5 fire fighters are dispatched to fires by truck or helicopter. They are often preceded by faster amphibious airtankers that fly out to the fire, scoop water up from nearby lakes, and continue dropping on the fire until it has been contained or the fire fighters are ready to take over with ground attack. The fire fighters on the ground usually set a power pump up at a water source near the fire, lay a hose line up to the fire and then work their way around the fire perimeter until the fire has been contained. A fire that grows beyond the capabilities of its initial attack force is classed as an escaped fire. Escaped fires can grow to tens of thousands or in some cases, even hundreds of thousands of hectares in size, they can burn out of control for days or weeks and their suppression can consume large

aux gestionnaires des feux. Le United States Forest Service emploie une petite équipe de chercheurs opérationnels, dont la majorité travaille à Riverside, en Californie, où se trouve une ramification des premières équipes à Berkeley, et on dénombre un petit groupe de chercheurs associés à des organismes de gestion des feux un peu partout aux États-Unis, en Australie, dans la région méditerranéenne et dans d'autres régions du globe.

### La gestion des feux de forêt au Canada

Les gestionnaires des feux de forêt au Canada sont en train de rompre avec un passé où on considérait le feu comme une force destructrice universelle qu'il fallait à tout prix supprimer des forêts et ils entrent maintenant dans une ère de gestion beaucoup plus complexe axée sur les effets des feux; dans la planification et la mise en œuvre de leurs activités, ils doivent maintenant tenir compte des nombreux effets possibles des incendies sur le plan social, économique ou écologique. Ils doivent aussi s'assurer que leur intervention va dans le sens des politiques et stratégies générales de gestion des forêts, notamment en ce qui a trait à la gestion durable des forêts à toute la complexité que cela suppose.

Les organismes canadiens de gestion des feux de forêt utilisent abondamment l'eau et les aéronefs. En Ontario, par exemple, on envoie des équipes de 3 à 5 pompiers sur les lieux des incendies par camion ou par hélicoptère. Ils sont souvent précédés par des bombardiers à eau amphibies qui, une fois sur les lieux du sinistre, pompent l'eau dans des lacs avoisinants et la déversent sur le feu jusqu'à ce que celui-ci soit maîtrisé ou que les pompiers soient prêts à prendre la relève dans le cadre d'une intervention terrestre. Les pompiers au sol fixent habituellement une motopompe à une source d'eau à proximité de l'incendie, ils procèdent à un établissement de tuyaux jusqu'au feu et travaillent autour du périmètre de l'incendie jusqu'à ce qu'ils arrivent à le circonscire. On désigne par l'expression "feu débordant" un incendie qui prend de telles proportions qu'il dépasse les capacités de

amounts of money, in some cases millions of dollars. Water is less readily available in parts of Western Canada and fire management agencies there rely more heavily on hand tools such as shovels and pulaskis and land-based airtankers that drop water based slurries which contain phosphates that retard fire spread. even after the water has evaporated from the mixture.

During the period 1970 - 94 Canadian forest fire management agencies dealt with an average of 9327 fires per year. The annual area burned was highly variable and ranged from 289,157 hectares in 1978 to 7,559,572 hectares in 1989 and averaged 2 million hectares per year. Fire management expenditures during the 5 year period beginning in 1990 ranged from \$327 million to \$439 million and averaged \$376 million per year.

Forest fire management is similar in many respects to urban fire management and much of the urban emergency systems OR work (e.g., base location and resource deployment) that has been carried out to support city fire, police and ambulance services is to some extent applicable to forest fire management. Walker et al. (1979) for example, describes the New York City Rand fire project and contains a wealth of valuable information and should be considered essential reading for anyone in the forest fire business. Larson and Odoni (1981) is a comprehensive treatment of OR applications to urban emergency response systems and contains valuable material on spatial stochastic processes of interest to forest fire specialists.

Similarities notwithstanding, forest fire management has important features that distinguish it from other emergency response systems. Forest fire management agencies tend to cover much

l'équipe de première intervention. Les "feux débordants" peuvent s'étendre sur des dizaines de milliers, voire, dans certains cas, sur des centaines de milliers d'hectares, ils brûlent parfois pendant des jours ou des semaines sans que l'on puisse les maîtriser et leur extinction peut occasionner des frais très élevés, parfois même coûter des millions de dollars. L'eau est plus difficile d'accès dans l'Ouest du Canada et les organismes de gestion des feux de cette région optent plus souvent pour des outils manuels, comme des pelles et des outils de Pulaski, et des bombardiers à eau à base terrestre qui déversent des "explosifs en bouillie" contenant des phosphates qui ralentissent la propagation du feu, même une fois l'eau évaporée du mélange.

Entre 1970 et 1994, les organismes canadiens de gestion des feux de forêt ont traité en moyenne 9327 incendies par année. La superficie incendiée variait considérablement d'une année à l'autre, allant de 289 157 hectares en 1978 à 7 559 572 en 1989, et elle représentait en moyenne 2 millions d'hectares par année. De 1990 à 1995, les dépenses relatives à la gestion des feux ont fluctué entre 327 millions de dollars et 439 millions de dollars et elles se sont élevées en moyenne à 376 millions de dollars par année.

La gestion des feux de forêt est similaire à plusieurs égards à la gestion des incendies en milieu urbain et bon nombre des projets de RO se rapportant aux systèmes urbains de première intervention (base d'opérations et déploiement des ressources) qui ont été mis en œuvre pour assister les services urbains d'incendie, de police et d'ambulance sont applicables dans une certaine mesure à la gestion des feux de forêt. Walker et al. (1979), par exemple, qui décrit le projet "Rand fire pour la ville" de New York, contient une foule de renseignements précieux et constitue un document de référence essentiel pour toute personne oeuvrant dans le domaine des incendies de forêt. L'ouvrage de Larson et Odoni (1981) est une étude exhaustive des applications de RO sur des systèmes urbains d'intervention d'urgence et son analyse des procédés stochastiques spatiaux intéressera les spécialistes des feux de forêt.

larger areas than urban fire departments and fire occurrence and behaviour exhibits much more spatial and temporal variation. The fact that fire is a natural component of many forest ecosystems and is not universally destructive certainly distinguishes it from urban fire management and unlike urban fire fighters, forest fire fighters do not have to extinguish all fires. That sometimes provides interesting opportunities for fire managers to sit back and marvel at the majesty of nature as a remote natural fire rips across the landscape and "does its thing" without threatening people.

### **Some Challenges**

Some of the challenges that forest fire management poses are relatively narrow technical OR problems while others encompass very broad complex issues that call for comprehensive initiatives in which OR specialists might be able to play significant roles. Martell (1982) presented a fire management decision-making framework and described many operational research studies that had been carried in support of fire prevention, fuel management, detection and suppression decision-making. In this section I describe four important fire management problems that I believe would be interesting challenges for Operational Researchers. This choice of topics is not intended to be comprehensive but rather to illustrate the scope of challenges that await operational researchers that choose to tackle fire management problems.

#### **1. Daily Initial Attack Resource Deployment**

Each day regional fire duty officers must decide how many fire fighters and transport vehicles (trucks, fixed wing

En dépit de ces similitudes, la gestion des feux de forêt présente certaines particularités qui la distinguent des autres systèmes d'intervention d'urgence. Les organismes de gestion des feux de forêt doivent généralement couvrir des zones beaucoup plus vastes que les services d'incendie des villes et la fréquence et l'évolution des incendies de forêt présentent de plus grandes variations spatio-temporelles. Comme le feu est une composante naturelle d'un grand nombre d'écosystèmes forestiers et qu'il n'est pas forcément destructeur, il faut appliquer en forêt une gestion différente de celle des services urbains; en effet, contrairement aux pompiers des villes, les pompiers des forêts n'ont pas à éteindre tous les feux. Ainsi, les gestionnaires des feux ont parfois la chance d'admirer la beauté de la nature sans avoir à intervenir quand un incendie embrase au loin le paysage et suit sa route sans mettre la vie de gens en péril.

### **Quelques défis**

Les défis que soulève la gestion des feux de forêt sont dans certains cas des problèmes de RO purement techniques dont la portée est limitée alors que d'autres comportent des paramètres d'une grande complexité qui nécessitent de vastes initiatives dans le cadre desquelles les experts en RO peuvent être amenés à jouer un rôle important. Martell (1982) définissait un cadre décisionnel de gestion des feux et décrivait divers travaux de recherche opérationnelle mis en oeuvre pour soutenir le processus décisionnel en matière de prévention des incendies, de gestion des combustibles, de détection et d'extinction des incendies. Dans la section qui suit, je présente quatre problèmes majeurs liés à la gestion des incendies qui, selon moi, constituent des défis intéressants pour les chercheurs opérationnels. Ce choix ne se veut pas exhaustif, il vise simplement à illustrer la diversité des défis qui attendent les chercheurs opérationnels qui souhaitent s'attaquer aux problèmes de gestion des incendies.

#### **1. Déploiement quotidien des ressources de première intervention**

Tous les jours, les responsables régionaux des services d'incendie doivent déterminer combien de

aircraft and helicopters) should be acquired and deployed at initial attack bases. Fires are ignited, detected and reported or arrive at rates that vary over the course of the day and the duty officers strive to deploy initial attack resources so as to minimize response times to potentially destructive fires that merit aggressive initial attack. Fires are prioritized and initial attack resources are dispatched to contain fires as quickly as possible. The longer the fires wait the larger they grow and the longer they take to control. The initial attack system can be viewed as a spatial queueing system with time dependant Poisson arrivals, a priority service discipline, customers that require a random number of servers and general service time distributions with parameters that depend upon the weather, the forest vegetation and the waiting time. Kazi Islam, a graduate student in Mechanical and Industrial Engineering at the University of Toronto has been investigating the use of time dependant spatial queueing models for daily airtanker deployment but there remain many problems that should prove challenging to queueing specialists.

## **2. Airtanker Home Basing**

Fire managers must decide where to establish airtanker bases and how to home base their airtankers at the start of the fire season. Their objective is to base the airtankers close to areas where they are most often needed so as to minimize the cost of ferrying them between bases to fulfil daily deployment needs, and the time flight crews and air engineers spend away from home in order to minimize meal and accommodation costs and the personal inconvenience associated with working away from home. The optimal home basing strategy is influenced by the daily deployment strategy discussed above, a point I will return to below.

pompiers et de véhicules (camions, aéronefs à voilure fixe et hélicoptères) ils devront mobiliser et affecter aux bases de première intervention. Des feux prennent naissance, ils sont détectés puis signalés ou ils se produisent à une fréquence qui varie au cours de la journée et les responsables des opérations essaient de mobiliser les ressources de première intervention de manière à minimiser le délai d'intervention pour les incendies potentiellement destructeurs qui nécessitent une attaque initiale énergique. Ils classent les incendies par ordre de priorité et affectent les ressources de première intervention de façon à maîtriser les incendies le plus rapidement possible. Plus le délai d'intervention sera long, plus l'incendie se propagera et plus il faudra du temps pour le maîtriser. On peut considérer ce système de première intervention comme un système de file d'attente spatial comportant des processus d'arrivée de Poisson non stationnaires, une discipline de services prioritaires, des clients nécessitant un nombre aléatoire de serveurs et des distributions de temps de service générales dont les paramètres varient selon les conditions météorologiques, la végétation forestière et le délai d'attente. Kazi Islam, un étudiant de troisième cycle en génie mécanique et industriel à l'University of Toronto, étudie actuellement l'utilisation de modèles de file d'attente spatiaux non stationnaires pour le déploiement quotidien des bombardiers à eau, mais beaucoup d'autres problèmes intéressants restent encore à résoudre pour les spécialistes des files d'attente.

## **2. Établissement des bases des bombardiers à eau**

Les gestionnaires des feux doivent décider où établir les bases des bombardiers à eau et comment affecter les bombardiers à eau à leurs bases au début de la saison des feux. Ils cherchent à placer les bombardiers à eau à proximité des secteurs où on en a le plus besoin afin de réduire au minimum le coût de convoyage entre les bases pour répondre aux besoins quotidiens et le temps que passent les équipages et les mécaniciens d'aéronef loin de leur domicile, et ainsi limiter les frais de subsistance et d'hébergement et les désagréments personnels occasionnés par le fait de travailler loin de chez soi. La stratégie de déploiement quotidien des ressources décrite plus haut et dont nous reparlerons un peu plus loin a une incidence sur la

Gruelich (1976) developed a Markov decision process model that simultaneously addressed the home basing and daily deployment of five airtankers at three bases in California. Ontario currently owns nine CL-215 airtankers and five Twin Otters that also serve as airtankers and they have more than ten airtanker bases. The "curse of dimensionality" renders Gruelich's model inappropriate for Ontario. MacLellan and Martell (1996) ignored the spatial and temporal correlation of fire weather and incorporated relatively simple subjective daily airtanker deployment rules in a mathematical programming model which the OMNR used to help evaluate airtanker home basing strategies. There is a need to model the spatial and temporal correlation in fire weather and determine the extent to which they should be incorporated in home basing models. Since Canadian forest fire management agencies participate actively in formal mutual aid pacts and airtankers are often moved from one province to another to meet short term needs, airtanker home basing and deployment models should ultimately be national in scope. This will call for spatial stochastic modelling expertise and I expect the dimensionality of the resulting models will pose interesting computational challenges.

### ***3. Hierarchical Approaches to Forest Fire Management Systems Design***

Most Canadian forest fire management agencies are large, complex, centrally administered public agencies that are responsible for fire management over vast areas. Airtankers cost roughly twenty million dollars and last for more than thirty years. Boreal forest stands typically grow to more than 50 years of age before they are harvested. Fires on the other hand, can start and burn large areas in a few hours. Fire managers must resolve decisions over time horizons that range from minutes in the case of initial attack dispatching, to decades in the

stratégie optimale d'établissement des bases. Gruelich (1976) a développé un modèle de décision markovien qui s'applique simultanément à l'établissement des bases et au déploiement quotidien de cinq bombardiers à eau sur trois bases en Californie. L'Ontario possède actuellement neuf bombardiers à eau CL-215 et cinq Twin Otter qui servent aussi de bombardiers à eau et elle a établi plus de dix bases de bombardiers à eau. Les exigences au niveau du temps de résolution rendent le modèle de Gruelich inapplicable en Ontario. MacLellan et Martell (1996) n'ont pas pris en considération la corrélation temps-espace des conditions météorologiques propices aux incendies et ils ont intégré des règles subjectives relativement simples de déploiement quotidien des bombardiers à eau dans un modèle de programmation mathématique qu'a utilisé le ministère des Ressources naturelles de l'Ontario pour évaluer les stratégies d'établissement des bases des bombardiers à eau. Il faut maintenant modéliser la corrélation temps-espace pour des conditions météorologiques propices aux incendies et déterminer dans quelle mesure on doit l'intégrer aux modèles d'établissement des bases. Comme les organismes canadiens de gestion des feux de forêt participent activement à des ententes officielles d'assistance mutuelle et que les bombardiers à eau sont souvent déplacés d'une province à l'autre pour répondre aux besoins à court terme, les modèles d'établissement des bases et de déploiement des bombardiers à eau devront en bout de ligne avoir une portée nationale. Il faudra donc faire appel à des experts en modélisation stochastique spatiale et je crois que la taille des modèles obtenus posera des problèmes intéressants au niveau du calcul.

### ***3. Approches hiérarchiques pour l'élaboration des systèmes de gestion des feux de forêt***

La plupart des organismes canadiens de gestion des feux de forêt sont de grands organismes publics dont l'administration est centralisée et très complexe. Ils sont responsables de la gestion des feux pour des régions très étendues. Les bombardiers à eau coûtent environ vingt millions de dollars et durent plus de trente ans. Les arbres de la forêt boréale poussent généralement pendant plus de 50 ans avant d'être abattus. Les feux, en revanche, peuvent prendre naissance et incendier de grandes surfaces en quelques heures. Les gestionnaires des feux doivent prendre des décisions se rapportant à des plages de temps qui vont

case of airtanker fleet composition, and areas that range from a few hectares to the size of a province. Consider for example, airtanker management, aspects of which have been discussed above. Daily airtanker deployment needs are determined in part by initial attack dispatch rules and fire suppression tactics. Home basing decisions must be based upon daily deployment needs and resolved subject to long term fleet composition decisions. Initial attack response times determine initial attack success rates which in turn determine burned area which affects forest management at management unit, regional and provincial levels. Clearly there must be central control but many decisions must be decentralized out to managers in the field. This calls for complex stochastic hierarchical planning models that should prove to be a rich source of challenging problems for operational researchers.

#### **4. The "Big" Problem**

The days when forest fire managers could assume their objective was to use the fire suppression resources placed at their disposal to minimize area burned are long gone. Society now expects and in fact demands, that forest managers develop and implement sustainable forest management. Public expectations extend far beyond timber production and forest recreation. Sustainable development, global climate change, biodiversity, forest health, ecosystem management, community stability, naturalness, old growth and spiritual values are but some of the many complex concerns that forest managers must address. Given the prevalence of fire in Canadian forest ecosystems and its potential social, economic and ecological impacts, fire managers must develop and implement fire management strategies that are compatible with society's broad forest management visions and expectations.

de quelques minutes dans le cas du déploiement des ressources de première intervention à des décennies pour la composition d'une flotte de bombardiers à eau, et à des superficies variant de quelques hectares au territoire d'une province. Prenons, par exemple, la gestion des bombardiers à eau, que nous avons abordée plus haut. Les besoins quotidiens liés au déploiement des bombardiers à eau sont déterminés en partie par les règles d'affectation des ressources de première intervention et par les tactiques d'extinction des incendies. Les décisions relatives à l'établissement des bases doivent être prises en fonction des besoins quotidiens de déploiement des ressources et elles dépendent des décisions à long terme concernant la composition de la flotte. Les délais d'intervention des premiers secours conditionnent la réussite des premières interventions qui déterminent, à leur tour, la superficie incendiée, ce qui a une incidence sur la gestion des forêts à l'échelle de l'unité de gestion et aux paliers régionaux et provinciaux. Une gestion centrale est bien sûr nécessaire, mais il faut décentraliser plusieurs décisions et les confier aux gestionnaires qui oeuvrent dans le secteur visé. On devra donc développer des modèles de planification hiérarchique stochastique complexes, ce qui devrait se traduire par d'autres problèmes passionnants pour les chercheurs opérationnels.

#### **4. Le principal problème**

L'époque où les gestionnaires des feux de forêt croyaient que leur tâche consistait à utiliser les ressources d'extinction des feux mises à leur disposition pour réduire au minimum la superficie incendiée est depuis longtemps révolue. Non seulement la société s'attend maintenant à ce que les gestionnaires des forêts conçoivent et appliquent une gestion durable des forêts, mais elle le demande. Les attentes du public dépassent largement la production de bois d'œuvre et la récréation forestière. Les gestionnaires des forêts doivent maintenant s'attaquer à une foule de problèmes d'une grande complexité, notamment le développement durable, les changements climatiques globaux, la biodiversité, la santé des forêts, la gestion des écosystèmes, la stabilité des communautés, l'aspect naturel des aménagements et les valeurs spirituelles. Compte tenu de l'importance du feu dans les écosystèmes forestiers canadiens et de son impact possible sur le plan social, économique ou écologique, les gestionnaires des feux doivent élaborer et mettre en œuvre des stratégies de gestion des incendies qui sont

The OMNR is currently drawing upon OR expertise to assist with the development and implementation of a comprehensive first generation "Level of Protection" decision support system which it is using to address such concerns. They will certainly need powerful planning methodologies, models and decision support systems that can be used to help evaluate strategies for the management of large complex biological systems that span immense areas and very long uncertain planning horizons. That will tax the ability of Operational Researchers to develop and solve very large stochastic models. Perhaps an even greater challenge is the fact that most Operational Researchers are educated in the mathematical, physical and managerial sciences with little emphasis on biology. OR specialists typically view the world from traditional engineering perspectives and lack the knowledge required to enable them to understand and deal with the very complex social and biological processes that complicate forest management. And yes, roughly 94 percent of Canada's forests are on Crown land and the public demands that it be intimately involved in all aspects of the planning process. The move to integrated fire/forest management planning is underway and there are more than enough challenges for the OR community.

### How To Get Started

If you are interested in "getting into the fire business" simply contact your local forest fire management agency - they are usually embedded in the provincial or territorial government ministry responsible for forest land management or in the case of the federal government, Parks Canada. Fire varies in importance from agency to agency due to land use patterns, forest vegetation and climate, but Quebec, Ontario, Manitoba, Saskatchewan, Alberta, British Columbia and the Northwest and Yukon territories are definite "hot spots". Canadian forest fire

compatibles avec les visions et les attentes globales de la société en matière de gestion des forêts. Le ministère des Ressources naturelles de l'Ontario fait actuellement appel à des experts de RO pour l'assister dans l'élaboration et la mise sur pied d'un vaste système d'aide à la décision de "Niveau de protection" de première génération visant à résoudre ces problèmes. Ils auront certainement besoin de méthodes de planification, de modèles et de systèmes d'aide à la décision pour évaluer les stratégies relatives à la gestion de systèmes biologiques vastes et complexes couvrant des superficies immenses et de très longues périodes de planification plus ou moins bien définies. Ces défis mettront à l'épreuve l'habileté des chercheurs opérationnels qui devront développer et résoudre des modèles stochastiques de grande taille. Ce défi sera d'autant plus difficile à relever que la plupart des chercheurs opérationnels reçoivent une formation en mathématiques, en physique ou en gestion où on accorde peu d'importance à la biologie. Les experts en RO conçoivent généralement le monde dans une perspective traditionnelle d'ingénierie et ils n'ont pas les connaissances nécessaires pour comprendre et traiter les processus sociaux et biologiques très complexes qui interviennent dans la gestion des forêts. Et, comme environ 94 % des forêts canadiennes se trouvent sur des terres appartenant à la Couronne, le public tient à participer étroitement à tous les aspects du processus de planification. On se dirige maintenant vers une planification de gestion intégrée des forêts et des feux, ce qui devrait fournir un nombre plus que respectable de défis pour les chercheurs opérationnels.

### Comment s'engager dans la gestion des feux

Si vous êtes intéressé à vous engager dans la "gestion des feux", il vous suffit de vous adresser à l'organisme de gestion des feux de forêt de votre région - ces organismes sont généralement rattachés au ministère provincial ou territorial responsable de la gestion des terres forestières - ou, dans le cas du gouvernement fédéral, à Parcs Canada. L'importance des incendies varie d'un organisme à un autre selon l'utilisation des terres, la végétation forestière et le climat, mais le Québec, l'Ontario, la Saskatchewan, l'Alberta, la Colombie-Britannique et les Territoires du Nord-Ouest et du Yukon sont les régions les "plus névralgiques". Les gestionnaires des feux de forêt au Canada ont dû assumer d'importantes compressions

managers have been forced to absorb significant cutbacks in recent years and they have precious little money to devote to research - but they make up in enthusiasm what they lack in funds. Fire managers tend to be very innovative and eager to try out new technology and collaborate with researchers that demonstrate a willingness to make long term commitments and devote time to helping fire managers implement their results. Many of my colleagues and I have developed very close working relationships with a number of agencies. They open their doors up to probing researchers, compile and make data freely available, get us out into their dispatch centres and fire base camps where we can see what really goes on, and invite us to sit in on both formal and impromptu planning sessions where we can observe them grappling with their problems. Once they stop chasing fire and the smoke begins to settle they tend to be very forthcoming in discussing what has transpired and explaining why they chose to do what they have done. They sometimes even manage to scrape up funds to support the research. The collaboration is mutually beneficial and frankly, a lot of fun!

### Acknowledgements

I wish to thank P.H. Kourtz, A. Tithecott and P.C. Ward for their helpful comments on earlier versions of this article.

### Literature Cited

- Greulich, F. E. 1976. A model for the seasonal assignment of airtankers to home bases under optimal expected deployment. Ph.D. dissertation, University of California, Berkeley, CA.
- Kourtz, P. H. 1970. A cost-effectiveness analysis of simulated airborne infrared forest fire detection system. Ph.D. dissertation, University of California, Berkeley, CA.
- Larson, R. C. and A. R. Odoni. 1981. Urban operations research. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- MacLellan, J. I. and D. L. Martell. 1996. Basing airtankers for forest fire control in Ontario. *Operations Research*. **44**:677-686.
- Maloney, J. E. 1972. Development and application of a linear model of the California Division of Forestry airtanker retardant delivery system. Ph.D. dissertation, University of California, Berkeley, CA
- Martell, D. L. 1982. A review of operational research studies in forest fire management. *Canadian Journal of Forest Research*. **12**:119-140.
- Shephard, R. W. and W. S. Jewell. 1961. Operations research in forest fire problems. *In A study of fire problems*. National Academy of Science, National Research Council Committee on Fire. pp. 145-

budgétaires au cours des dernières années et ils ont très peu d'argent à consacrer à la recherche, mais ils compensent cette absence de fonds par un très grand enthousiasme. Les gestionnaires des feux sont généralement très innovateurs et désireux d'essayer de nouvelles technologies et de collaborer avec des chercheurs qui sont prêts à s'engager à long terme et à consacrer du temps à les aider à mettre en oeuvre les résultats de leurs travaux. Bon nombre de mes collègues et moi-même avons établi des relations de travail très étroites avec certains de ces organismes. Ils ouvrent grand leurs portes aux chercheurs curieux, ils compilent leurs données et les rendent disponibles, ils nous font visiter leurs centres de régulation et leurs campements, ce qui nous permet de voir ce qui se passe réellement, et ils nous invitent à participer à des séances de planification formelles ou improvisées où il nous est possible de les observer pendant qu'ils essaient de résoudre les problèmes. Une fois qu'ils ont fini d'éteindre les feux et que la fumée commence à se disperser, ils sont habituellement disposés à discuter de ce qui s'est passé et à expliquer le choix de leur méthode d'intervention. Ils arrivent même parfois à ramasser des fonds pour soutenir la recherche. La collaboration est mutuelle, bénéfique et, croyez-moi, très plaisante !

### Remerciements

Je tiens à remercier P. H. Kourtz, A. Tithecott et P. C. Ward de leurs commentaires constructifs sur les versions antérieures de cet article.

165.

Simard, A. J. 1978. Development of a computer simulation model to determine air tanker productivity and effectiveness. Ph.D. dissertation, University of Washington, Seattle, WA.

Stade, M. 1967. Cost effectiveness of water bombers in forest fire control. Journal of Canadian Operational Research Society. 5:1-18.

Walker, W. E., J. M. Chaiken and E. J. Ignall. 1979. Fire department deployment and analysis: a public policy analysis case study. The Rand fire project. Elsevier North Holland, Inc. New York, NY.

CORS / SCRO 1997 ANNUAL CONFERENCE

MAY 26-28, 1997

VISIT THE CONFERENCE HOME PAGE <<http://business.carleton.ca/cors97/>>